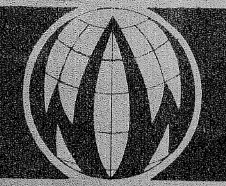
معهد مراقبة البيئة العالمية
(وورلد واتش)
وثيقة ٨٧

حماية الحياة على الأرض :
خطوات لإنقاذ طبقة الأوزون

تأليف : سينثيا بولُوك شي   ترجمة : الدكتور أنور عبد الواحد





الدار الدولية للنشر والتوزيع

معهد مراقبة البيئة العالمية

(وورلد واتش)

وثيقة ٨٧

حماية الحياة على الأرض :
خطوات لإنقاذ طبقة الأوزون



إن معهـد مراقبـة البيئـة العـالمية Worldwatch Institute منظمة بحثية مستقلة لا تستهـدف الـربح ، ولقد أنشئت لتحليل المشكلات العالمية وتركيز الاهتمام عليهـا ، ويـديرها ليستر ر. براون ، وتموها مؤسسات خاصة ومنظمات الأمم المتحدة . ووثائق معهد مراقبة البيئة العالمية تكتب لجمهور عريض على النطاق العالمي من صانعي القرارات والدارسين والجمهور العام .

حماية الحياة على الأرض :
خطوات لإنقاذ طبقة الأوزون

تـألـيـف

سينثيا بولُّوك شى

تـرجـمة

الدكتور أنور عبد الواحد

الدار الدولية للنشر والتوزيع

القاهرة - الكويت - لندن

Worldwatch Paper 87 : PROTECTING LIFE ON EARTH: STEPS TO SAVE THE OZONE LAYER by Cynthia Pollock Shea.

ISBN 0-916468-88-7

أشرفت الجمعية المصرية لنشر المعرفة والثقافة العالمية بالقاهرة على ترجمة وإخراج هذه الطبعة من الكتاب ، كما قامت بأعمال الجمع التصويرى وإعداد الأفلام .

The Egyptian Society for the Dissemination of Universal Culture and Knowledge (ESDUCK), Cairo, supervised the translation and production of this edition. Phototypesetting and films were done by ESDUCK.

حقوق النشر

الدار الدولية للنشر والتوزيع
٨ ش إبراهيم العرابى - النزهه الجديدة - القاهرة
ص.ب : ٥٥٩٩ هليوبوليس غرب - القاهرة
تليفون : ٢٩٩٠٩٧٠
تلكس : ٢٠٨١٥ PESC UN
فاكس : ٢٩٩٠٩٧٠/ ٠٠٢٠٢

المحتويات

حينما أعلن العلماء البريطانيون فى عام ١٩٨٥ عن حدوث ثقب فى طبقة الأوزون فوق القارة القطبية الجنوبية (آنتاركتيكا) فى كل ربيع منذ عام ١٩٧٩ ، فإن الأنباء كانت بمثابة مفاجأة كاملة . ورغم أن النظرية التى تقول بأن مجموعة من الكيماويات المستعملة على نطاق واسع ، وتسمى الكلوروفلوروكربونات (ك ف ك) ، ستؤدى يوما ما إلى تآكل طبقة الأوزون الجوية العليا ، كانت قد طُرحت فى منتصف السبعينيات ، إلاَّ أن أياً من النماذج لم يكن قد تنبأ بأن الاستنفاد depletion سيتضح أولا فوق القطب الجنوبى ـ أو أنه سيكون قاسيا . وأُصيب العلماء بالحيرة : ما الذى يُهَدِّد هذا النظام الأساسى للحفاظ على الحياة ، وما عدد المفاجآت الأخرى التى لم يُكْشف عنها بعد ؟ (1)

والأوزون ، وهو صورة جُزَيْئية للأكسجين يكون فيها جُزَيْئه ذا ثلاث ذرات من الأكسجين ، هو الغاز الوحيد فى الجو الذى يحدّ من الإشعاع فوق البنفسجى المنبعث من الشمس والواصل إلى الأرض . ويوجد معظمه عند ارتفاعات تتراوح بين ١٢ و ٢٥ كيلومترا ، ولكن حتى هناك ، عند أعلى تركيزاته فإن وجوده لا يزيد على أجزاء قليلة فى المليون . فالتفاعلات الكيميائية التى يُحدثها ضوء الشمس تُعوِّض الأوزون فوق المناطق الاستوائية ، وينْقِل دوران الهواء بعضا منه إلى القطبين .

أود أن أشكر بإخلاص سوزان فاين وبروس جولدشتاين على معاونتها البحثية ، وسوزان نوريس على مساعدتها الانتاجية .. وإننى ممتنة لدوجلاس كوجان ، وكريستوفر فلافين ، وجون هوفمان ، وسندرا بوستل ، وشيروود رولاند ، وميشيل أوبنهايمر ، على تعليقاتهم التى أبدوها على المسودات المبكرة للمخطوطة .

وعلى حلول الربيع القطبي الجنوبي لعام ١٩٨٧ ، هبط متوسط تركيز الأوزون فوق القطب الجنوبي ٥٠ فى المائة ، مع اختفائه تقريباً فى بعض البقاع . ورغم أن النقص كان مُنْذراً بالخطر ، فإن الكثيرين ظنوا أن الاستنفاد كان موسمياً ومقتصراً على القارة القطبية الجنوبية ، وهى ظاهرة يمكن أن تُعْزَى إلى الكيمياء الجوية المتغيرة ، وإلى دورانٍ مُحَيِّرٍ للهواء القطبي (2) .

وأوْدَى تقرير علمى صدر فى مارس ١٩٨٨ بهذه النظرة . فقد أعلنت مجموعة دولية من أكثر من ١٠٠ خبير أن طبقة الأوزون الموجودة حول الكرة الأرضية بأكملها كان تآكلها أسرع بكثير مما تنبأت به النماذج . وفيما بين عامى ١٩٦٩ و١٩٨٦ ، كان متوسط تركيز الأوزون فى الاستراتوسفير (الغلاف الجوى العلوى) قد هبط بنسبة ٢ فى المائة تقريباً . وتفاوت مقدار الهبوط وفقاً لخطوط العرض وتعاقُب المواسم ، مع معاناة أكثر المناطق الآهلة بالسكان فى اوروبا ، وأمريكا الشمالية ، والاتحاد السوفيتى ، من نقصٍ على مدار العام تبلغ نسبته ٣ فى المائة ، ومن فقدان فى فصل الشتاء بنسبة ٤,٧ فى المائة (3) .

ولـمّا كان الأوزون يتناقص فى طبقة الجو العليا ، فإن الأرض تتلقى مقداراً أكبر من الاشعاع فوق البنفسجى ، مما يشجع على الاصابة بالسرطانات الجلدية وحالات إعتام عدسة العين (الكتاراكتا) ويوهن نظام المناعة البشرى . ومع زيادة تغلغل الاشعاع فوق البنفسجى فى الجو ، فإنه سيزيد من سوء هذه التأثيرات الصحية ، ويقلل من غلة المحاصيل والثروات السمكية ، ويتلف بعض المواد مثل اللدائن (البلاستيك) ، ويزيد من الضباب الدخانى smog . وسيؤثر الاستنفاد المتواصل

للأوزون تأثيراً سيئاً على راحة كل شخص يعيش على كوكب الأرض .

ويوجد حاليا اتفاق واسع النطاق على أن المركّبات المحتوية على الكلور والبروم ، التى تطلقها العمليات والمنتجات الصناعية ثم تتصاعد إلى طبقة الجو العليا ، هى المسئولة أساساً عن استنفاد الأوزون . ويأتى معظم الكلور من الكلوروفلوروكربونات (ك ف ك) ، ويَصْدُر البروم من الهالونات المستعملة فى أجهزة إطفاء الحرائق .

ولقد استحثَّ ثقب الأوزون فوق القارة القطبية الجنوبية ٣٥ دولة على أن توقِّع على اتفاقية دولية ــ بروتوكول مونتريال ــ تهدف إلى تخفيض معظم انبعاثات ك ف ك إلى النصف مع حلول عام ١٩٩٨ وإلى تجميد انبعاثات الهالونات مع حلول عام ١٩٩٢ . (حتى منتصف نوفمبر ١٩٨٨ ، صَدَّقت ١٤ دولة على الميثاق) . ورغم أن ذلك يعتبر إنجازاً دبلوماسياً فعالاً ، وخطوة أولى هامة ، إلا أن الاتفاقية تعتورها منافذ للتهرب بحيث لا يمكن الوفاء بأهدافها . وعلاوة على ذلك ، فإن النتائج العملية التى أعقبت المفاوضات قد كشفت عن أنه حتى لو تحققت أهداف المعاهدة ، فسيظل يحدث تدهور تالٍ ملحوظ فى طبقة الأوزون (4) .

والبراهين الجديدة على أن التدفئة العالمية global warming قد تكون جارية بالفعل ، تدعم الحاجة إلى إجراء تحكم تالٍ وإلى القضاء على انبعاثات ك ف ك والهالونات . ونظراً للخواص القوية التى تتميز بها ك ف ك والهالونات من حيث امتصاص الحرارة ، فإنها تُسهم إسهاماً هاماً فى ظاهرة الصوبة greenhouse effect ، وتمثل

نحـو ١٥ إلى ٢٠ فى المـائـة من التـدفقـة المتـوقعـة . ونظراً لأنها كيماويات تخليقية يمكن تطوير بدائل لها ، فإنها أسهل غازات الصوبة من حيث امكانية السيطرة عليها (5) .

١٠ ولم يَعُد هناك أيّ شك فى وجود روابط أساسية بين ك ف ك ، والهالونات ، واستنفاد الأوزون ، وظـاهـرة الصـوبـة . ويمكن لتكنـولـوجيات التحكم المتـاحة حالياً ، والقياسيات standards الأكثر تَشَدُّدا والمتحكِّمة فى تشغيل وصيانة المعدات ، أن تقلل من انبعاثات ك ف ك والهالونات بنسبة ٩٠ فى المائة تقريباً . إلا أنه لا يزال يلزم صياغـة سياسـات حكـومية وممـارسـات صناعية فعالة للحد من انبعاثات الكلور والبروم ، ثم القضاء عليها فى نهاية الأمر . ولقد جاءت المبادرات المشجعة من بعض الـدول ، وفى اسكنـدينـافيا بصفة خاصة ، ومن بعض المؤسسات . ولكن كما أن تأثيرات استنفاد الأوزون والتغير فى الطقس سيتم الإحساس بها على النطاق العالمى ، كذلك فإن العلاج الباقى والدائم للمشكلات يجب أن يكون عالميا .

لغز استنفاد الأوزون

فى عام ١٩٨٥ ، روّع العـالِم فريقٌ يرأسـه جوزيف فارمان ، من مصلحة المساحة البريطانية للقارة القطبية الجنوبية ، بنشر تقرير عن حدوث فقدان نسبته ٤٠ فى المائة من أوزون فصـل الـربيع فوق تلك القـارة . وبـاستعـمال معـدات طُوِّرت فى العشرينيات ، اكتشف الفريق حدوث أقل تركيز للأوزون تم تسجيله على الإطلاق فوق الكـرة الأرضية . ورغم أن ف. شيروود رولانـد ومـاريو مولينـا من جامعـة

« يمكن لتكنولوجيات التحكم المتاحة حالياً أن تقلل من انبعاثات ك ف ك والهالونات بنسبة ٩٠ فى المائة تقريباً » .

كاليفورنيا كانا قد تنبآ بحدوث انخفاض فى الأوزون العالمى فى عام ١٩٧٤ ، فإن المجتمع العلمي الدولى أبدى تشككه ، وتمثل ذلك فى التساؤل التالى : لماذا لم تكتشف أحدث معدات المراقبة المحمولة على أقمار صناعية متفوقة هذا الانخفاض ؟ (6)

وأظهر الفحص الدقيق أن أجهزة الاستشعار بالأقمار قد سجلت الانخفاض فى الواقع ، بل وأبرزت أقلّ القيم . والذى حدث ببساطة هو أن العلماء قد أخفقوا فى معالجة البيانات الضخمة . ومن المحقق أن البحث فى ذاكرة الحاسبات قد أوضح أنه فى عام ١٩٨٤ كان الثقب أوسع مساحةً من الولايات المتحدة وأكثر ارتفاعا من جبل إفرست (7) .

وحينما وُوجه العلماء بالبراهين على هذه الظاهرة المحلية التى لم تكن قد تنبأت بها النماذج الجوية العالمية ، فإنهم تدافعوا إلى تفسير السبب وإلى تعيين ما إذا كان الاستنفاد قد ينتشر إلى أوسع من القارة القطبية الجنوبية . وقدموا نظريات مبنية على كلٍّ من الأسباب الكيميائية والطبيعية وخططوا لإعادة تقويم بيانات الأقمار الصناعية والبيانات الأرضية ، جنبا إلى جنب مع إيفاد بعثات إلى القارة . ووصل أول فريق إلى هناك فى أواخر أغسطس ١٩٨٦ ، على أمل أن يحدِّد بسرعة ما إذا كان الثقب قد سبَّبته قُوىً طبيعية أوكيماويات تخليقية . ولم يُكْشَف السر بسهولة . وأَلْقَت تجارب عديدة شكوكا على النظريات التى وجَّهت اللوم إلى الدورات الشمسية وإلى حركة الهواء إلى أعلى من طبقة التروبوسفير (طبقة الهواء المحيطة بالأرض) ، ولكن الاختبارات التى أجريت لإثبات التدمير الكيميائى لم تكن مؤكدة . ولقد لَخَّصت

سوزان سولومون ، رئيسة الفريق ، النتائج على النحو التالى : « بناء » على النظريات الحالية ، فإن الكلور هو العنصر الوحيد الذى لا يمكننا استبعاده . . ونحن نعتقد أن آلية كيميائية هى المسئولة أساساً عن الثقب (8) .

وفى عام ١٩٨٧ تم إيفاد بعثة أخرى أكبر عدداً بكثير ، وتتألف من ١٥٠ من العلماء والأفراد المساعدين يمثلون ١٩ منظمة وأربع دول . واتخذت بعثة الأوزون القومية الثانية قاعدة لها فى بونتا أريناس بشيلى ، وأجرت قياسات بواسطة الأقمار الصناعية ، والطائرات ، والبالونات ، وقياسات من الأرض . وكانت بيانات الأقمار الصناعية ، التى كانت تتاح فى غضون ٢٤ ساعة ، عوناً للباحثين على توجيه طائرتين مجهزتين تجهيزاً خاصاً إلى مركز الثُّقب (9) .

وكشفت معدات المراقبة عن أن متوسط تركيز الأوزون فى منطقة يبلغ اتساعها ضعف اتساع الولايات المتحدة قد هبط بنحو النصف فى الفترة من ١٥ أغسطس حتى ٧ أكتوبر . وفى بعض مناطق فى داخل الثقب ، اختفى الأوزون تماماً . وعزى العلماء الهبوط إلى مجموعة مؤتلفة من العوامل : الظروف الأرصادية (الميتيورولوجية) الفريدة فى القارة القطبية الجنوبية ، ووجود سُحُب استراتوسفيرية قطبية ، وتركيزات منخفضة من أكاسيد النتروجين ، والأهم من ذلك وجود تركيزات عالية من الكلور النشط .

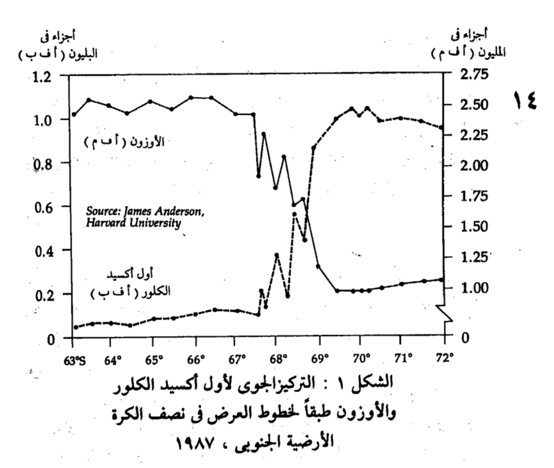
وبدأت ملامح اللغز تتجمع ويوضِّح بعضها بعضا . ففى أثناء الشتاء القطبى الجنوبى المحروم من الشمس ــ من مارس إلى أغسطس تقريباً ــ يصبح الهواء

« وفى جميع أنحاء ثقب الأوزون ، كانت المستويات المتزايدة من أول أكسيد الكلور مرتبطة بالتركيزات المتناقصة من الأوزون » .

فوق القارة معزولا فى دوَّامة قطبية لفَّافة تتسبب فى انخفاض درجات الحرارة إلى أقل من – ٩٠ درجة سلسيوس . وهذه برودة كافية لتجمد بخار الماء النادر وتكوين سحب استراتوسفيرية قطبية . وتؤدى التفاعلات الكيميائية على سطح بلورات الجليد إلى تحويل الكلور من صور غير نشطة ، مثل كلوريد الهيدروجين ونترات الكلور ، إلى جزيئات بالغة الحساسية لضوء الشمس . وتتحول اكاسيد النتروجين الغازية ، القادرة عادة على تَخْميل الكلور ، إلى حمض نيتريك متجمد ، وبالتالى فإنه يصبح غير تفاعلى (10) .

ويُطلق ضوء الشمس الربيعى الكلور ، مُبْدِئاً سلسلة من التفاعلات المدمرة للأوزون والتى تتواصل دون تعويق لمدة خمسة أو ستة أسابيع . وتتحول جزيئات الأوزون إلى جزيئات من الأكسجين العادى ذى الذرتين . ويظهر الكلور دون أن يلحقه أذى ، ومستعداً لمهاجمة أوزون أكثر . وأوضحت التجارب التى أجراها جيمس أندرسون وزملاؤه فى جامعة هارفارد أن مستويات أول أكسيد الكلور – وهو ناتج وسيط للتفاعل الكيميائى – كانت أعلى من المعتاد بنحو ٥٠٠ مرة فى أكثر المناطق اضطرابا . وفى جميع انحاء الثقب ، كانت المستويات المتزايدة من أول أكسيد الكلور مرتبطة بالتركيزات المتناقصة من الأوزون . (انظر الشكل ١) (11) .

والأوزون المتناقص فى الدوامة يعنى أن الجو هناك يمتص قدرا أقل من الاشعاع الشمسى القادم ، وبذلك فإنه يعمل على إدامة درجات الحرارة الأقل وعلى إبقاء الدوامة ذاتها . وفى عام ١٩٨٧ ، لم يَنْقطع دوران الدوامة إلا فى أوائل ديسمبر ، أى بعد شهر من المعتاد . وإضافة إلى ذلك ، كان الثقب أبرد بنحو ٨ درجات سلسيوس



الشكل ١ : التركيزالجوى لأول أكسيد الكلور والأوزون طبقاً لخطوط العرض فى نصف الكرة الأرضية الجنوبى ، ١٩٨٧

عند ارتفاع ١٥ كيلومتراً عما كان عليه فى عام ١٩٧٩ . ونتيجة لهذا ، فإن السحب الاستراتوسفيرية القطبية كانت أكثر انتشاراً وبقاءً . وخلاصة ذلك أن ثقب الأوزون يَغْتَذِى على ذاته (12) .

ومن الأمور المتناقضة أن ظاهرة التدفئة العالمية تشجع هذه العملية . فالتركيزات الأعلى لغـازات الصـوبـة يُظَنُّ أنها مسئولة عن حدوث تزايد فى درجة حرارة سطح الأرض

وتناقص فى درجة حرارة الاستراتوسفير . وإضافة إلى ذلك ، فالميثان ، وهو أحد الغازات الأساسية للصوبة ، مصدر ملحوظ لبخار الماء الاستراتوسفيرى . ويعمل كل من درجات الحرارة الأكثر برودة والرطوبة المتزايدة على تيسير تكون السحب الاستراتوسفيرية (13) .

وحيث أن ثقب الأوزون لا يمكن أن يصبح أكثر عمقاً فإن هناك مخاوف من إمكانية انتشاره إلى الخارج ، مُطَوِّقاً مناطق أكبر من الأرجنتين وشيلى وممتداً فوق أجزاء من استراليا ، والبرازيل ، ونيوزيلندا ، وأروجواى . وهذه المناطق قد تعانى أيضاً حينما ينقطع دوران الدوامة ويعمل أوزونها على استنفاد تدفق الهواء فى جميع أنحاء نصف الكرة الأرضية الجنوبى الأسفل . وفى ديسمبر ١٩٨٧ ، رصدت ثلاثٌ من المحطات الخمس لمراقبة الأوزون فى استراليا حدوث هبوط حاد فى الأوزون . واستمرت القيم المنخفضة على نحو شاذٍ لمدة ثلاثة اسابيع فوق ملبورن ، مما نتج عنه أقل مستويات مسجلة لمتوسط الأوزون فى شهر ديسمبر . ويتساءل روجر أتكنسون ، من مصلحة الأرصاد الجوية الاسترالية ، عما إذا كان « من الممكن أن تكون هذه هى العلامة الأولى للاستنفاد الممتد فوق استراليا » (14) .

وعلى حين يُلاَحظ أن كثيراً من الظروف الأرصادية والكيميائية المؤدية إلى استنفاد الأوزون إنما تقتصر على القارة القطبية الجنوبية ، فإن البحوث التى أجريت من قواعد على سطح الأرض فى جرينلاند خلال شتاء عام ١٩٨٨ قد وجدت تركيزات عالية من الكلور ومستويات منخفضة من الأوزون فوق المنطقة القطبية الشمالية

كذلك . ورغم عـدم ظهـور دوامـة قوية هناك ، وأن درجـات الحـرارة ليست بنفس القـدر من الانخفاض ، فإن سحباً استراتوسفيرية قطبية تتكون فوق المنطقة بالفعل (15) .

وللحصول على مزيد من المعلومات عن الكيمياء الجوية للمنطقة القطبية الشمالية ، فإن مؤسسـة ناسـا NASA بالـولايات المتحـدة ستـوفـد فرقاً من الباحثين إلى إستافانجر بالنرويج ، وإلى جزيرة إليسمير بكندا ، فى أوائل عام ١٩٨٩ . وستستعمل البعثات أجهـزة مقـامة على الأرض لتحليل المكونات الكيميائية للجو ، وأجهزة مماثلة محمولة بالطائرات لأخذ عينات من الهواء الموجود فى السحب الجليدية . وفى هذه الأثناء ، ستقـوم أجهـزة استشعـار محمولة على متن القمر الصناعى نمبوس - ٧ Nimbus-7 بفحص ضوء الشمس المنعكس . وسيقوم العلماء الدانمركيون آنيا بتجميع قياسات مأخـوذة من قواعـد عل سطح الأرض فى جرينـلانـد ، والعلماء السـوفيت من فوق مناطقهم فى أقصى الشمال . كذلك فإن الاتحاد السوفيتى يخطط لإجراء أرصاد بواسطة الطائرات فى الوقت نفسه تقريباً (16) .

وتؤدى النظريات عن الكيفية التى يتفاعل بها الكلور على سطح الجسيمات فى السحب الاستراتـوسفـيرية القطبية إلى مشاعر مُقْلقة بأنه قد تحدث تفاعلات مماثلة تستنفد الأوزون حول الكرة الأرضية . ولم يتم التحقق من أهمية كيمياء سطح السُحبُ فى تدمير الأوزون حتى عام ١٩٨٦ . وفى الـوقت الحاضر ، يُنْظَر إلى دورها كعامل أساسى . ويعتقد بعض العلماء أن الأسطح الكيميائية للكبريتات قد تستضيف نفس التـفـاعـلات الحـفَّـازة للكـلور الـتـى تَحْدُث فوق الـقـارة الـقـطبية

« لقد تم تجميع الوثائق عن الخسائر في الأوزون حول الكرة الأرضية ، وليس عند القطبين فقط . وهي تحدث بسرعة أعلى بكثير من التنبؤات السابقة » .

الجنوبية . وتوجد ايروسولات الكبريتات من البراكين والعمليات البيولوجية في الجو على جميع خطوط العرض ، عند ارتفاعات من ١٥ إلى ٢٢ كيلومترا . وهي تسود بصفة خاصة فوق المناطق الآهلة الأكثر كثافة في نصف الكرة الأرضية الشمالي ، مما قد يشير إلى الدور الذي تلعبه انبعاثات الكبريت الصادرة من الأنشطة البشرية . وإذا كانت هذه الكيماويات قادرة على استثارة نفس التفاعلات الحفازة ، فإن استنفاد الأوزون العالمي قد يُعَجِّل بسرعة أعلى مما هو متوقع (17) .

ولقد تدعَّم الإجماع حول مدى استنفاد الأوزون وأسبابه بنشر التقرير الذي أصدرته هيئة اتجاهات الأوزون Ozone Trends Panel التابعة لناسا في ١٥ مارس ١٩٨٨ . فلقد قضى أكثر من ١٠٠ عالم من ١٠ دول ١٦ شهراً في استعراض الأبحاث المنشورة وفي إجراء تحليل جديد وتفسير لمعظم بيانات الأوزون المستقاة من قواعد أرضية ومن الأقمار الصناعية . وكان غرضهم هو : حذف أي أخطاء سببتها الأجهزة نتيجة عيوب في معايرتها .

ولقد تم تجميع الوثائق عن الخسائر في الأوزون حول الكرة الأرضية ، وليس عند القطبين فقط . ووُجِّه اللوم بحزم ، وخاصة عن ثقب الأوزون فوق المنطقة القطبية الجنوبية ، إلى الكلوروفلوروكربونات . وذكرت الهيئة في تقريرها أنه فيما بين ٣٠ - ٦٤ درجة شمال خطوط العرض ، حيث يعيش غالبية الناس في العالم ، قد تناقص المقدار الإجمالي للأوزون فوق أية نقطة معينة بنسبة تتراوح بين ١,٧ و ٣,٠ في المائة خلال الفترة من ١٩٦٩ إلى ١٩٨٦ . (انظر الجدول ١) . وعلاوة على ذلك

الجدول ١ : التناقص العالمى فى الأوزون الجوى ، ١٩٦٩ - ٨٦ [1]

خط العرض	التناقص على مدار العام	التناقص فى الشتاء
	(فى المائة)	(فى المائة)
٥٣ - ٦٤° ش	- ٢,٣	- ٦,٢
٤٠ - ٥٣° ش	- ٣,٠	- ٤,٧
٣٠ - ٤٠° ش	- ١,٧	- ٢,٣
١٩ - ٣٠° ش	- ٣,١	غير معلن
صفر - ١٩° ش	- ١,٦	غير معلن
صفر - ١٩° ج	- ٢,١	غير معلن
١٩ - ٢٩° ج	- ٢,٦	غير معلن
٢٩ - ٣٩° ج	- ٢,٧	غير معلن
٣٩ - ٥٣° ج	- ٤,٩	غير معلن
٥٣ - ٦٠° ج	- ١٠,٦	غير معلن
٦٠ - ٩٠° ج	- ٥,٠ أو أكثر	غير معلن

(١) البيانات للمنطقة ٣٠ إلى ٦٤ درجة شمال خط الاستواء مبنية على معلومات مجمعة من أقمار صناعية ومحطات أرضية من ١٩٦٩ إلى ١٩٨٦ . البيانات للمنطقة من ٦٠ درجة شمالا إلى القطب الجنوبى مبنية على معلومات مجمعة من أقمار صناعية ومحطات أرضية منذ ١٩٧٩ . كل البيانات الأخرى تم تجميعها بعد نوفمبر ١٩٧٨ من بيانات الأقمار الصناعية فقط .

المصادر : NASA Ozone Trends Panel; Cass Peterson, "Evidence of Ozone Depletion Found Over Big Urban Areas," *Washington Post*, March 16, 1988.

فإن « تناقصات الأوزون كانت أكثر اتضاحاً فى الشتاء ، وتراوحت بين ٣,٢ و ٦,٢ فى المائة (حسب خط العرض) ، وكانت هذه التغيّرات الشتوية أعلى مما تنبأت به النماذج الجوية (18) .

وحيث أن محطات المراقبة ليست سائدة فى نصف الكرة الجنوبى كما هى فى النصف الشمالى ، فإن الهيئة حذّرت من أن البيانات للمناطق الواقعة جنوب ٣٠ درجة شمالاً ليست لا يمكن الاعتماد عليها تماماً ، أو أنه من الممكن تعيين التفاوتات الموسمية بدقة . كما نص التقرير على أنه فى حين تبلغ المشكلة أسوأ حالاتها فوق القارة القطبية الجنوبية أثناء الربيع ، فإنه « يبدو أن الأوزون قد تناقص منذ عام ١٩٧٩ بنسبة ٩ فى المائة أو أكثر عند كل خطوط العرض جنوب ٦٠ درجة جنوبا طوال العام » . ويغطى الثقب وحده نحو ١٠ فى المائة من نصف الكرة الأرضية الجنوبى (19) .

ولقد رَوَّعت نتائج التقرير صانعى السياسات ، وممثلى الصناعة ، والباحثين حول العالم . وقبل نشر التقرير ، كانت ظاهرة استنفاد الأوزون العالمى ودور الكلوروفلوروكربونات مثار خلاف ساخن . وفى غضون أسابيع قليلة ، تم تَقَبُّل استنتاجات التقرير على نطاق واسع ، وبدأ جدال الجماهير فى الاستفحال . فعلى حين فجأة ، أصبح استنفاد الأوزون حقيقيا ، ولم يعد مجرد نظرية ، وعرف الناس فى جميع أنحاء العالم مدى ما وصلت إليه المشكلة المُطْبقة من سوء .

وتنبه العلماء إلى الخطر ، لا من جرّاء الضرر المُوَثَّق الذى لَحِق بطبقة الأوزون فحسب ، بل وبسبب عدم صلاحية نماذجهم للتنبؤ به . فاستنفاد الأوزون يحدث.

بسرعة أعظم بكثير ، وبنمط مختلف تماماً عما سبق توقعه . ولا يزال من غير المؤكد إلى حد كبير مقدار ومكان ما سيحدثه استنفاد الأوزون فى المستقبل . ورغم أن الآليات الأساسية لاستنفاد الأوزون مفهومة بصفة عامة ، إلا أنه لا يزال من المشكوك فيه التأثيرُ الكَمىٌّ لكيمياء سطح السحب ، ومعدل التفاعلات الكيميائية المختلفة ، والمسالك الكيميائية المحددة لهذه التفاعلات . وطبقاً لما ذكره شيروود أندرسون ، وهو أحد الأوائل الذين نبهوا إلى الخطر ، فإن قرارات السياسات فى الوقت الحالى ولمدة عقد آخر على الأقل يجب ألّا تتخذ بدون خطوط استرشادية كِمِّية وجيدة لما يخبئه المستقبل (20) .

تأثيرات الاشعاع فوق البنفسجى

إن البشَرَةَ المُسْمرَّة والمتجعدة والمتجلدة ، وبعض الاضطرابات المعينة التى تصيب العين ، واللدائن القَصِفَة ، إنما يتسبب فيها جميعا الإشعاع فوق البنفسجى الذى يصل إلى سطح الأرض . وفى الوقت الحاضر ، يمتص الأوزون قدراً كبيراً من الضوء فوق البنفسجى الذى ينبعث عن الشمس بأطوال موجية تُلحق الضرر بالبشر والحيوانات والنباتات . (إن أكثر الأطوال الموجية إحداثا للضرر من الناحية البيولوجية هى التى تقع فى نطاق ٢٩٠ - ٣٢٠ نانومتر ، والتى يشار إليها بالرمز UV-B أى الاشعاع فوق البنفسجى ـ ب . ولكن طبقاً لبعض إسقاطات غير مؤكدة من نماذج الحاسبات (الكمبيوتر) ، فإن تآكل دِرْع الأوزون قد تنتج عنه زيادة تتراوح بين ٥ و ٢٠ فى المائة فى الاشعاع فوق البنفسجى الواصل إلى المناطق المسكونة فى غضون الأربعين السنة القادمة ـ ومعظمها يقع فى نطاق الاشعاع فوق البنفسجى ـ ب (21) .

« إن تآكل درع الأوزون قد تنتج عنه زيادة بنسبة ٥ - ٢٠ فى المائة فى الاشعاع فوق البنفسجى الواصل إلى المناطق المسكونة فى غضون الأربعين السنة القادمة» .

وعلى ضوء النتائج التى توصلت إليها هيئة اتجاهات الأوزون التابعة لناسا ، ووكالة الحماية البيئية (EPA) فى الولايات المتحدة ، فإن إسقاطات الأضرار المذكورة فى هذا الباب تعتبر متحفظة . ورغم أن نطاقات EPA مبنيةٌ على استراتيجيات التحكم الحالية ، فإنها تفترض أن مستويات استنفاد الأوزون تتراوح بين ١,٢ و٦,٢ فى المائة . ومع ذلك ، فإن مناطق العالم كافةً قد عانت بالفعل من استنفادٍ جاوز هذا الحد المنخفض . فعلى الارتفاعات العالية جدا ، تجاوز الاستنفادُ الحدَّ الأعلى الأكثر واقعية طبقاً لوكالة الحماية البيئية . وعلى ذلك ، فرغم أن تقديرات الأضرار هذه هى أفضل المتاح حالياً ، إلا أنه من المحتمل أن تكون على الجانب المنخفض (22) .

وعلى النطاق العالمى ، فإن حدوث سرطان الجلد بين القوقازيين يتزايد بالفعل ، ويرجع ذلك لحد كبير إلى مزاولة نشاط أكثر فى الأماكن المكشوفة (المعرضة لضوء الشمس ، إلا أنه من المتوقع أن يتزايد تزايداً مُنْذِراً بالسوء فى وجود الاشعاع فوق البنفسجى - ب أكثر . وفى الولايات المتحدة وحدها ، يُعْلَن عن نحو ٦٠٠ ٠٠٠ حالة جديدة للسرطان الحرشفى وسرطان الخلية القاعدية (squamous and basal cell carcinoma) ، وهما النوعان الأكثر شيوعا من أنواع سرطان الجلد ، وإن كان من النادر أن يؤديا إلى الوفاة . وعلى المستوى العالمى ، فإن عدد الحالات يزيد على ذلك ثلاث مرات على الأقل . وهذا الحدوث يترابط ترابطا وثيقا مع التعرض المتراكم للإشعاع فوق البنفسجى (23) .

وكل هبوط فى الأوزون بنسبة واحد فى المائة تنتج عنه تقديريا حالات أكثر بنسبة ٤ - ٦ فى المائة من هذين النوعين لسرطان الجلد . ومن المتوقع أن يتسبب استنفاد

الأوزون فى حدوث ٣ ملايين إلى ١٥ مليون حالة جديدة للأمريكيين المولودين قبل عام ٢٠٧٥ ؛ ومن المرجح أن يموت نحو ٥٢٠٠٠ إلى ٢٥٢٠٠٠ من هؤلاء المرضى بسبب ذلك الداء . وأكثر المعرضين للخطر هم من الملونين السُّمْر الذين يعيشون أقرب ما يمكن من خط الاستواء . كذلك فمن المعرضين للإصابة الأرجنتينيون والأستراليون والشيليون والنيوزيلنديون الذين يعيشون فى مناطق يصل اليها الزمن الربيعى للثقب القطبى الجنوبى . ويتعاون أعضاء المؤسسة القومية للعلوم National Science Foundation فى الولايات المتحدة مع زملائهم فى الأرجنتين وشيلى لقياس المقدار المتزايد من الاشعاع فوق البنفسجى الوارد (24) .

والميلانوما melanoma ، وهى نوع من سرطان الجلد أشد خطرا ، تهاجم بالفعل ٢٦٠٠٠ أمريكى سنويا وتنتج عنها ٨٠٠٠ حالة وفاة . وتمثل الميلانوما ٤ فى المائة فقط من جميع أنواع سرطان الجلد ، ولكنها مسئولة عن ٦٥ فى المائة من جميع حالات الوفاة بسرطان الجلد . ورغم أن الرابطة بين الميلانوما ومستويات الاشعاع فوق البنفسجى - ب المتزايدة أقل وضوحاً ، فإن وكالة حماية البيئة تقدرٌ أن استنفاد الأوزون سيؤدى إلى ٣١٠٠٠ حتى ١٢٦٠٠٠ حالة إضافية بين ذوى البَشَرَة البيضاء فى الولايات المتحدة المولودين قبل ٢٠٧٥ ، مما ستنتج عنه من ٧٠٠٠ إلى ٣٠٠٠٠ وفاة إضافية (25) .

وحدوث الميلانوما ومعدل الوفيات يتزايدان بالفعل فى جميع المناطق السكانية القوقازية التى وضعت تحت الدراسة . وفى استراليا ، زادت الوفيات بسبب الميلانوما إلى خمسة أضعاف على مدى السنوات الخمسين الماضية . وفى الولايات المتحدة ، زاد عدد الحالات بنسبة ٨٣ فى المائة على مدى السنوات السبع الماضية . وفى دول أخرى ،

يتزايد الحدوث بنسبة ٣ - ٧ فى المائة سنوياً . وتختلف الميلانوما عن السرطان الحرشفى وسرطان الخلية القاعدية فى أنها تبدو مقترنة بالتعرض الحاد للاشعاع ، كما فى حالات حُرُوق الشمس القاسية (26) .

وبناء على نفس التصورات (السيناريو) لوكالة حماية البيئة ، فإن من ٥٥٥٠٠٠ إلى ٢,٨ مليون أمريكى من المولودين قبل عام ٢٠٧٥ سيعانون من الكتاراكتا ، ممن لم يصابوا بها لأسباب أخرى . كذلك فإن الضحايا سيصابون فى أوقات مبكرة من أعمارهم ، مما سيزيد من صعوبة العلاج . والكتاراكتا ، وهى إعتامٌ يصيب عدسة العين فتُعْشِى البصر ، يمكن استئصالها بإجراء عملية بسيطة نسبياً ، ولكنها إذا تُرِكت دون معالجة فقد ينتج عنها العمى . وتجرى العملية الجراحية روتينياً فى الدول الصناعية ، ولكن الضحايا فى العالم النامى لن يكون فى مقدورهم على الأرجح إجراء العملية أو تحمل تكاليفها (27) .

كذلك يخشى الأطباء الباحثون أن يقلل الاشعاع فوق البنفسجى - ب من نظام المناعة البشرية ، مما يخفض من مقاومة الجسم للكائنات الحية المجهرية المهاجمة ، ويجعله أقل قدرة على مكافحة الأورام ، وأكثر تعرضاً للأمراض المعدية ، مثل القُوبَاء herpes . وفى الدول النامية ، وخاصة القريبة منها من خط الاستواء ، وبالتالى تتعرض لمستويات أعلى من الاشعاع فوق البنفسجى - ب ، قد تصبح حالات العدوى الطُفَيْلية أكثر شيوعاً . بل وقد تقلل الاستجابة من فعالية بعض برامج التطعيم ، مثل التطعيم ضد الدفتريا والسل . وبدلاً من أن يُنَمىٌّ جسم المريض استجابة مناعية ، فإنه قد يصاب بحالة مرضية تامة (28) .

٢٤

وعلى خلاف سرطان الجلد ، الذى يؤثر غالباً على ذوى البشرة البيضاء ، فإن انخفاض الاستجابة المناعية قد يؤثر على كل شخص على الأرجح . والأشخاص الذين تكون قد انخفضت مناعتهم بالفعل ، مثل الذين يُعَالَجُون بزرع الأعضاء أو المصابين بمرض الإيدز ، قد يكونون أكثر تعرضاً للخطر بسبب تأثيرات إضافية . ورغم أنه لم يمكن حتى الآن تقدير مدى انخفاض المناعة كَمِّيًّا ، فإن هناك بعض الدلائل التى تشير إلى أنها قد تُستحث بجرعاتٍ من الإشعاع فوق البنفسجى أقل بكثير مما يلزم للإصابة بالسرطان . وقد يَعْنى هذا أن الجرعات الأقل مما يلزم للإصابة بحروق الشمس يمكن أن تقلل من مقاومة الجسم للمرض . ولقد أجرت دراسة استرالية قياسات على التأثيرات المناعية فى آخذى الحمامات الشمسية (29) .

كذلك تتأثر الأنظمة الحيوية ، الأرضية منها والمائية . فلقد أظهر الفحص الجماعى لأكثر من ٢٠٠ نوع مختلف من أنواع النباتات ، معظمها من المحاصيل ، أن ٧٠ فى المائة منها حساسة للاشعاع فوق البنفسجى ـ ب . وقد يتسبب التعرض الزائد للاشعاع فى تقليل التخليق الضوئى ، وكفاية استعمال الماء ، والغلة الناتجة ، والمساحة الورقية للنبات . وفول الصويا ، وهو محصول غنى بالبروتين ، حساس بصفة خاصة . ولقد اكتشف ألان تيرامورا بجامعة ميريلاند ، أن محاكاة فقدان الأوزون بنسبة ٢٥ فى المائة أدى إلى خفض المحصول من نوع هام من أنواع فول الصويا إلى نسبة بلغت ٢٥ فى المائة . كذلك فإنه وجد أن حساسية النبات للاشعاع فوق البنفسجى ـ ب قد زادت مع زيادة مستوى الفسفور فى التربة ، مما يشير إلى أن المناطق الزراعية المخصبة (المسمدة) بشدة قد تكون أكثر المناطق تعرضاً للحساسية (30) .

ورغم أن النباتات يمكن تربيتها لإكسابها ميزات عديدة ، بما فى ذلك تحمل الاشعاع فوق البنفسجى ، فإن الاستنفاد السريع للأوزون قد يكتسح مقدرتها على تطوير آليات وقائية . ونتيجة لذلك ، فإن تلك الأصناف الأكثر مقاومة للضوء فوق البنفسجى هى التى يمكنها أن تنمو وتزدهر ، وليس بالضرورة تلك التى لها أعظم قيمة اقتصادية أو محتوى مغذ . وحتى الآن ، لم يتم فحص سوى أربعة من الأنواع العشرة الرئيسية للأنظمة الحيوية الأرضية ؛ والغابات الاستوائية وأراضى المراعى والأراضى الرطبة (مثل المستنقعات) ، هى من بين المناطق التى لا تزال تنتظر الدراسة (31) .

والأنظمة الحيوية المائية هى التى قد يتهددها أعظم خطر على الإطلاق . والنباتات المائية المعلقة phytoplankton ، تلك الكائنات المجهرية أحادية الخلية والتى تشارك فى عملية التخليق الضوئى أثناء انسياقها على سطح المحيط ، هى العمود الفقرى فى شبكة الغذاء البحرى . وحيث أنها تتطلب ضوء الشمس ، وهو عامل النمو المحدد فى مناطق المحيطات الواقعة فى خطوط العرض العالية ، فإنها لا يمكن أن تتفادى الاشعاع فوق البنفسجى القادم وبالتالى لا يمكن أن تستمر فى النمو والازدهار . بيد إنها إذا ظلت عند سطح الماء ، فإن الدراسات توضح أن انخفاض الأوزون بنسبة ٢٥ فى المائة يؤدى إلى تناقص إنتاجيتها بنحو ٣٥ فى المائة (32) .

والدراسات التى أجريت على الدياتومات diatoms ، وهى طحالب مجهرية ، توضح حدوث انخفاضات فى الكتلة الحيوية والبروتين والكلوروفيل عند مستويات للاشعاع فوق البنفسجى ـ ب تناظر انخفاضات الأوزون بنسبة ٥ - ١٥ فى المائة .

والتدمير الملحوظ للنباتات المائية المعلّقة ، وما يعقب ذلك من تحللها ، قد يزيد من مستويات ثانى أكسيد الكربون مما يعجل بتدفئة الجو (33) .

٢٦ والحيوانات الطافية zooplankton ويرقانات أنواع عديدة هامة من الأسماك ستتعرض لخطر مضاعف : فهى أيضاً تعيش على سطح الماء وستكون النباتات العالقة ، وهى مصدرها الغذائى الوحيد ، أكثر ندرة . وتوضح الدراسات الأولية أن ضوء الشمس بالغ الأهمية لمرحلة النمو اليرقانية ، إلا أنه لا يوجد تكيف أو آلية تجعلها تستجيب للإشعاع فوق البنفسجى المتزايد . ولبعض أنواع المحار shellfish ، قد يتسبب تناقص الأوزون بنسبة ١٠ فى المائة إلى زيادة تصل إلى ١٨ فى المائة فى عدد اليرقانات الشاذة . وتوضح دراسة إحصائية على سمك الأنشوقة anchovies أن ٨ فى المائة من التعداد السنوى لليرقانات سيقتل مع تناقص الأوزون بنسبة ٩ فى المائة (34) .

والتجمعات السمكية التجارية ، التى يتهددها بالفعل الحصاد المبالغ فيه ، قد تجد صعوبة فى تعويض ما يحصد منها بسبب تأثيرات الاشعاع فوق البنفسجى ـ ب المتزايدة . والأمر الأكثر إقلاقاً للكثير من البيولوجيين البحريين هو الكيفية التى سيتغير بها تركيب الأنواع فى بيئات المحيطات . ومما لا شك فيه أن بعض الأنواع ستكون أكثر تأثراً من غيرها بالإشعاع فوق البنفسجى المتزايد ، ومن المرجح أن تكون التغيرات مأساوية . والتعرض الناتج من فقدان الأوزون بنسبة ١٠ فى المائة يناظر الانتقال ٣٠ درجة تجاه خط الاستواء ـ وهو ما يشبه الانتقال من مدينة نيويورك إلى كاراكاس فى فنزويلا . وفى نهاية الأمر ، فإن أنظمة حيوية بأكملها قد تصبح غير مستقرة وأقل مرونة .

« أن التعرض الناتج عن فقدان الأوزون بنسبة ١٠ فى المائة يناظر الانتقال ٣٠ درجة تجاه خط الاستواء ـــ وهو ما يشبه الانتقال من مدينة نيويورك إلى كاراكاس فى فنزويلا » .

كذلك فإن مستويات الاشعاع فوق البنفسجى ـ ب المتزايدة ستؤثر على المواد التخليقية . واللدائن (البلاستك) حساسة بصفة خاصة . وتقدر الدراسات التى أجرتها وكالة حماية البيئة أنه بدون مخصبات (أسمدة) كيميائية إضافية ، فإن الأضرار المتراكمة لبوليمر واحد فحسب ، وهو كلوريد البوليفينيل ، قد تصل إلى ٤,٧ بليون دولار مع حلول عام ٢٠٧٥ فى الولايات المتحدة وحدها (35) .

والأوزون ، وهو نفس المادة التى تعمل بمثابة درع واق فى الاستراتوسفير ، يعتبر ملوثاً خطراً عند مستوى سطح الأرض . ومن الغريب أن تدمير الأوزون العلوى قد يزيد من مقدار الأوزون عند سطح الأرض . فمع وصول مزيد من الاشعاع فوق البنفسجى إلى الأرض ستتسارع العملية الكيميائية الضوئية التى تنشىء الضباب الدخانى smog . وتوضح الدراسات أن الأوزون عند مستوى الأرض ، وهو المكون الرئيسى للضباب الدخانى ، يعوق نمو المحاصيل والأشجار ، ويحدُّ من الرؤية ، ويعطل وظائف الرئة . أما نوعية هواء المدن ، وهى رديئة بالفعل فى معظم مناطق العالم ، فستزداد سوءاً . وبالإضافة إلى ذلك فمن المتوقع أن يؤدى تناقص الأوزون الاستراتوسفيرى إلى تزايد المقادير التروبوسفيرية من بيروكسيد الهيدروجين ، وهو مادة تشكل المطر الحمضى (36) .

ولقد قامت الوكالات الحكومية بالولايات المتحدة بإجراء غالبية البحوث التى تمت حتى الآن على تأثيرات الاشعاع فوق البنفسجى المتزايد . ولقد زيدت مخصصاتها السنوية لاستقصاء الأسئلة العديدة المعلقة إلى نحو ١٥ - ٢٠ بليون دولار . ولدى ألمانيا (الغربية) برنامجها الخاص عن الاشعاع فوق البنفسجى ـ ب ، وتموله وزارة

البحث والتكنـولـوجيا ، ومن المنتظر أن يبدأ قريباً تنفيذ برامج مشتركة تحت رعاية المجموعة الأوروبية . ومما يدعو إلى العجب ، أن أقوى الشكوك إنما تحيط بتأثيرات الاشعــاع فوق البنفسجى ـ ب المتـزايدة على النـظام المنـاعى وعـلى الحياة المـائية والنباتية ، حيث يكمن أعظم الخطر على صحة البشر وعلى الموارد الغذائية (37) .

ورغم الشكوك العديدة المتعلقة بمقدار استنفاد الأوزون فى المستقبل ، ومستويات الاشعاع فوق البنفسجى ـ ب المتزايدة ، وتأثيراتها البيولوجية ، إلا أنه من الواضح أن المخاطر التى تهدد الأنظمة الحيوية ، المائية منها والأرضية ، هائلة . والخلاصة الجـوهـرية لدراسات وكالة حماية البيئة هى أن « المكاسب التى تحقق من الحدّ من استعمال ك ف ك / هالون فى المستقبل تفوق بمراحل التكاليف المتزايدة التى تفرضها تلك التنظيمات على الاقتصاد » . وفى الولايات المتحدة وحدها ، تقدر القيمة الحالية للمزايا المكتسبة من التحكم فى الانبعاثات حتى عام ٢٠٧٥ بنحو ٦ تريليون دولار ـ أى ما يزيد ٢٤٠ ضعفاً على التكاليف (38) .

العجائب الكيميائية وأوغاد الجو

الكلوروفلوركربونات كيماويات رائعة . فهـى ليست سامة ولا قابلة للاشتعال عند مستوى الأرض ، كما برهن على ذلك مكتشفها توماس ميدجلى الصغير فى عام ١٩٣٠ حينما استنشق أبخرة من كأس يحتوى على سائل رائق منها ، ثم أطلق زفيره لإطفاء شمعـة . وكـانت صناعة التبريد محتاجة بالضبط إلى وسيط تبريد coolant مأمون وإنتـاجه رخيص . وقامت شركة دى بون E.I. du Pont de Nemours & Company

« لقد ساعد توافر مركبات ك ف ك على إحداث كثير من التطورات الاجتماعية والتكنولوجية فى العقود الحديثة ، جزئياً على الأقل » .

بتسويق المركب تحت الاسم التجارى الفيريون Freon . (يشار إليه فى الاختصار الكيميائى بالرمز ك ف ك - ١٢ CFC-12) . وزاد الانتاج العالمى زيادة مذهلة ، حيث ارتفع من ٥٤٥ طن فى عام ١٩٣١ إلى ٢٠٠٠٠ طن فى عام ١٩٤٥ (39) .

وتم اكتشاف استعمال آخر لهذا المركب الكيميائى بمثابة عامل نفخ فى رغويات العزل الصلبة ، فى أواخر الأربعينيات . وفى هذا الاستخدام ، يتم تبخير ك ف ك - ١٢ إلى غاز يشكل فقاعات خفيفة الوزن ومغلقة الخلايا ، وتتميز بأنها موصلات ضعيفة لكل من الحرارة والبرودة . وقامت شركة دو كيميكال Dow Chemical بتطوير وتسويق الستايروفوم Styrofoam ، وهو أشهر هذه المنتجات . وتضاعف الانتاج الاجمالى من ك ف ك - ١٢ فى السنوات الخمس بعد عام ١٩٤٥ (40) .

ومع الوقت ، تم اكتشاف صياغات كيميائية جديدة ، ولاح أن تنوع منتجات ك ف ك لانهاية له تقريباً . واستعمل ك ف ك - ١١ وك ف ك - ١٢ فى أول الأمر بمثابة داسرات للايروسولات aerosol propellants فى أثناء الحرب العالمية الثانية لمكافحة الملاريا . وفى ما بعد الحرب ، استخدمت هذه المواد فى منتجات الايروسولات التى تراوحت من رشاشات الشعر ومزيلات الروائح إلى ورنيشات الأثاث . وفى أواخر الخمسينيات ، استعملت توليفة من عاملى النفخ ك ف ك - ١١ وثانى أكسيد الكربون لصنع وسائد لينة للأثاث وبطانات السجاجيد ومقاعد السيارات .

ولقد ساعد توافر مركبات ك ف ك على إحداث كثير من التطورات الاجتماعية

والتكنولوجية فى العقود الحديثة ، جزئياً على الأقل . ومكنت أجهزة التكييف الضخمة من بناء قاعات العرض المبردة وصالات الرياضة ومبانى المكاتب الشاهقة وأماكن إقامة جديدة فى الأجواء الحارة . وأدى تزويد السيارات بأجهزة تكييف الهواء ، المركبة حالياً فى ٨٠ فى المائة من السيارات المباعة فى الولايات المتحدة ، إلى افساح المجال على مستوى الأمة لقضاء العطلات الصيفية « على العجلات » . وتتاح حالياً أنواع صحية ولذيذة من أغذية الحمية (الريجيم) لأن ثلاثة أرباع الأطعمة التى تؤكل فى الولايات المتحدة إنما تبرد فى مرحلة ما من سلسلة مراحل الانتاج والتوزيع (41) .

وحتى ثورة الكمبيوتر قد ساعدتها مركبات ك ف ك . فمع تطور وتضاؤل حجم الجذاذات المجهرية microchips والمكونات الأخرى للأجهزة الالكترونية ، فإن الحاجة إلى إزالة أصغر الملوثات قد أصبحت بالغة الأهمية . ويستعمل ك ف ك - ١١٣ مذيباً لإزالة الغراء والشحم ومتخلفات اللحام ، مما يجعل السطح نظيفاً وجافاً . ونتيجة لتنوع وتعدد مركبات ك ف ك ، فقد أصبحت تستعمل على المعادن واللدائن وفى تنظيف الأقمشة على الجاف . وك ف ك - ١١٣ هو أسرع الأعضاء نمواً وانتشاراً فى عائلة ك ف ك ؛ والانتاج العالمى منه يتجاوز ١٦٠ ٠٠٠ طن سنوياً (42) .

وفى أعقاب أزمة الطاقة خلال السبعينيات ، بحث العملاء الصناعيون والتجاريون والسكان عن طرق جديدة لخفض ما يدفعونه عن فواتير الكهرباء والتدفئة . وتزايد الطلب على مواد العزل المصنوعة من الرغويات الصلبة ، وبعض انواعها منفوخ بمادة ك ف ك - ١١ والبعض الآخر بمادة ك ف ك - ١٢ . وفى عام ١٩٨٥ ، كانت

الرغويات الصلبة تستعمل بنسبة الثلثين من مواد العزل المركبة فى المبانى التجارية الجديدة بالولايات المتحدة ، ونسبة النصف منها فى المنازل الجديدة المشيدة للأسرة الواحدة ، ونسبة الثلث فى سوق إعادة عزل المساكن . وبادر صانعو الأجهزة المنزلية كذلك بالعمل على زيادة كفاية استهلاك معداتهم للطاقة ــ وهو اشتراط يتطلبه الآن قانون الولايات المتحدة . وفى الوقت الحاضر ، تحتوى الجدران الرغوية لثلاجة منزلية من مادة ك ف ك على خمسة أمثال (كيلوجرام واحد) ما يستعمل منها وسيطاً للتبريد (43) .

وتقدر مجموعة تمولها الصناعة الأمريكية أن القيمة السوقية لمركبات ك ف ك المنتجة فى الولايات المتحدة تبلغ نحو ٧٥٠ مليون دولار سنوياً ، وقيمة السلع والخدمات التى تعتمد مباشرة على هذه الكيماويات بنحو ٢٨ بليون دولار ، وقيمة المنتجات والمعدات بنحــو ١٣٥ بليون دولار . والمنتجات والسلع التى تعتمد على هذه الكيماويات لا حصر لها : فالولايات المتحدة وحدها لديها ٨٥ مليون ثلاجة منزلية و ٦٠ مليون جهاز لتكييف السيارات . وبالاضافة إلى ذلك ، تنتج سنوياً بلايين من حاويات التعبئة الرغوية لإبقاء الوجبات السريعة ساخنة ، ولحفظ البيض من الكسر ، ولعرض أنواع اللحوم بصورة جذابة (44) .

وفى جميع أنحاء العالم ، لا تزال الايروسولات هى المستعمل الأكبر لمركبات ك ف ك ، حيث تمثل ٢٥ فى المائة من الإجمالى . (انظر الجدول ٢) . وتأتى الرغويات الصلبة والمذيبات وهى أسرع مستعملات ك ف ك نمواً ، فى المرتبة الثانية .

الجدول ٢ : الاستعمال العالمى لمركبات ك ف ك ، حسب الفئات ، ١٩٨٥

الاستعمال	الحصة من الاجمالى
	(فى المائة)
الايروسولات	٢٥
الرغويات الصلبة لأغراض العزل	١٩
المذيبات	١٩
تكييف الهواء	١٢
وسائط التبريد	٨
الرغويات المرنة	٧
استعمالات أخرى	١٠

المصدر : Daniel F. Kohler et al., *Projections of Consumption of Products Using Chlorofluorocarbons in Developing Countries* (Santa Monica, California: Rand Corporation, 1987)

وفى عام ١٩٨٧ ، تعدى الانتاج العالمى من ك ف ك (باستثناء الصين والاتحاد السوفيتى وأوروبا الشرقية) الذروة المقدرة فى عام ١٩٧٤ ، حيث بلغ قريباً من مليون طن . ويمثل إنتاج ك ف ك - ١١ وك ف ك - ١٢ معاً ما لا يقل عن ثلاثة أرباع هذا الاجمالى . ولا يقوم بإنتاج مركبات ك ف ك سوى ٢٤ شركة تقريباً ، ولكن بيانات الانتاج نادرة ولا يمكن الاعتماد عليها تماماً . وتدعى الشركات أن لها حق الاحتفاظ بمثل هذه الأرقام ، وأن إتاحة نشرها علناً قد يضر بالمصالح التنافسية للصانعين . وهذا النقص فى المعلومات يجعل من الصعب تحليل وتنظيم أسواق مركبات ك ف ك (45) .

الجـدول ٣ : نصيب الفرد من استعمال ك ف ك - ١١ ، ك ف ك - ١٢ ، ك ف ك - ١١٣ ، ١٩٨٦

	ك ف ك - ١١	ك ف ك - ١٢	ك ف ك - ١١٣	الاجمالى[1]
	(كحجم / للفرد)			
الولايات المتحدة	٠,٣٤	٠,٥٨	٠,٣١	١,٢٢
أوروبا	٠,٤٧	٠,٣٤	٠,١٢	٠,٩٣
اليابان	٠,٢٣	٠,٢٩	٠,٤٣	٠,٩١

(١) الصفوف ليست مضافة بالجمع نظراً للتخصصات المهنية .

المصدر : U.S. Environmental Protection Agency, *Regulatory Impact Analysis: Protection of Stratospheric Ozone* (Washington, D.C., 1987).

ويمثل نصيب الفرد من الاستعمال الاجمالى لمركبات ك ف ك الثلاثة الأكثر انتشاراً أعلى معدلاته فى الولايات المتحدة ــ ١,٢٢ كيلوجرام ــ ولكن أوروبا واليابان لا تتخلفان عنه كثيراً . (انظر الجدول ٣) . وفى غالبية باقى العالم ، تقل معدلات الاستهلاك عن ذلك بكثير . ومن المحقق أن الأمريكيين يستعملون ستة أضعاف المتوسط العالمى . كذلك فإن أنماط الاستهلاك تتفاوت حسب المناطق : فالأوروبيون هم الأكثر استعمالاً لمادة ك ف ك - ١١ ، والأمريكيون لمادة ك ف ك - ١٢ ، واليابانيون لمادة ك ف ك - ١١٣ . ويرجع ذلك إلى أن الايروسولات تمثل ٣٧ فى المائة من الاستعمال الأوروبى لمركبات ك ف ك ، ويشكل تكييف الهواء النقال وطرق التبريد الأخرى ٣٩ فى المائة من الاستعمال فى الولايات المتحدة ، وتشكل المذيبات لصناعة الالكترونيات ٣٩ فى المائة من الاستعمال اليابانى لمركبات ك ف ك (46) .

الجدول ٤ : استهلاك ك ف ك حسب المناطق ، ١٩٨٦

المنطقة	الحصة من الاجمالى
	(فى المائة)
الولايات المتحدة	٢٩
دول صناعية أخرى[١]	٤١
الاتحاد السوفيتى وأوروبا الشرقية	١٤
دول نامية أخرى	١٤
الصين والهند	٢

(١) المجموعة الاوروبية تمثل أكثر من النصف ، يليها اليابان وكندا وأستراليا ودول أخرى .

المصادر : "The Ozone Treaty: A Triumph for All," *Update from State*, May/June 1988.

ومن ١٩٣١ وحتى نهاية ١٩٨٦ ، كانت الغالبية العظمى من الانتاج الإجمالى لمادتى ك ف ك - ١١ وك ف ك - ١٢ تباع لعملاء فى نصف الكرة الأرضية الشمالى . وحيث أن الكيماويات الخام والسلع المصنوعة بمركبات ك ف ك والمحتوية عليها كانت تصدر حينئذ ، إلى الدول النامية جزئياً ، فإن الاستعمال النهائى لم يكن غير متناسب . ومن المحقق أن العالم الثالث كان يمثل ١٦ فى المائة من استهلاك ك ف ك العالمى فى ١٩٨٦ . (انظر الجدول ٤) . ومع تنامى التعدادات السكانية والدخول incomes وقواعد التصنيع فى الدول النامية ، فمن المتوقع أن يتزايد هناك استعمال ك ف ك (47) .

وتختلف مركبات ك ف ك عن غالبية الكيماويات فى أنها لا تتفتت فى التروبوسفير . وبدلاً من ذلك ، فإنها تنساق إلى أعلى ببطء وتصل بعد ست إلى ثمانى سنوات إلى الاستراتوسفير . وما أن تصل هذه الكيماويات إلى هناك ، فمن الممكن أن تظل باقية إلى ما يقرب من ١٠٠ عام . وحينما تتفتت ، فإن كل ذرة كلور تتحرر تكون قادرة على تدمير عشرات الآلاف من جزيئات الأوزون قبل أن تتبدد من الجو .

كذلك فإن الهالونات تكون خاملة عند مستوى الأرض . وهى تحتوى على البروم ، الأكثر فعالية فى تدمير الأوزون من الكلور ، كما أنها طويلة العمر فى الجو . وتستعمل الهالونات فى مكافحة الحرائق : فيستخدم الهالون ١٢١١ فى أجهزة الإطفاء اليدوية والهالون ١٣٠١ فى أنظمة الغمر التام المصممة للمناطق المحصورة التى توجد بها محتويات قيمة ، مثل غرف الحاسبات ، ومراكز التبادل (السنترالات) التليفونية ، والمتاحف ، وأقبية التخزين والايداع بالبنوك .

ولقد قام سلاح المهندسين الأمريكى بتطوير الهالونات فى نهاية الحرب العالمية الثانية كوسيلة لمكافحة الحرائق فى الدبابات وحاملات الجنود المدرعة . وحيث أنها غير سامة ويمكن استخدامها مباشرة على المعدات الحساسة دون إحداث تلف أو ترك متخلفات ، فإنها قد أصبحت المادة الكيميائية المفضلة لمكافحة الحرائق . ولقد زاد الطلب عليها أربعة أضعاف فيما بين عامى ١٩٧٣ و ١٩٨٤ ، ولا يزال يتنامى بمعدل ١٥ فى المائة سنوياً (48) .

ورغم أن أحدث قياسات الأوزون تنذر بالخطر ، فإنها لا تعكس سوى الاستجابة

للغازات المحررة خلال أوائل الثمانينيات . أما الغازات المتصاعدة حالياً خلال طبقة الجـو السفـلى فسـوف تستغـرق ما يصـل إلى ثمانى سنوات قبـل أن تصـل إلى الاسـتراتـوسفـير . كما لا يزال يوجد على الأرض مليونا طن من المواد المحتوية على الكلور والـبروم ، وهى منحبسة فى رغويات العزل ، والأجهزة المنزلية ، ومعدات مكافحة الحرائق (49) .

ولقد تزايدت تركيزات الكلور فى طبقة الجو العليا من ٠,٦ إلى ٢,٧ جزء فى البليون خلال السنوات الخمس والعشرين الماضية . وحتى إذا أخذنا بأكثر التصورات (السيناريوهات) التنظيمية تفاؤلا ، فمن المتوقع أن تزيد إلى ثلاثة أضعاف مع حلول عام ٢٠٧٥ . ومن المنتظر أن تتنامى تركيزات البروم بسرعة أعلى بكثيرـ فتتزايد إلى عشرة أضعاف مستواها الحالى ، وهو جزء واحد فى التريليون ، رغم التجميد المتوقع للاستهلاك (50) .

ومـركبـات ك ف ك والهـالـونـات تدمـر بخبث وبلا هوادة درع الأوزون الواقى لكوكبنا الأرضى . وسـوف تعـانى سريعـاً الأنـظمة البيولوجية فى جميع أنحاء العالم من تأثيرات معادية . وبدون حظر تام وعاجل لانتاج ك ف ك والهالونات ، فإن الخاسرين الحقيقيين سيكونون أبناء الأجيال القادمة الذين سيرثون بيئة مفتقرة وسيتعجبون من حماقة أسلافهم .

تقليل الانبعاثات

فى ١٦ سبتمبر ١٩٨٧ ، بعد سنوات من المفاوضات الشاقة والساخنة وقعت ٢٤ دولة على بروتوكول مونتريال للمواد التى تستنفد طبقة الأوزون . وتتضمن مراحل تنفيذ

الاتفاقية تجميد إنتاج ك ف ك (عند مستويات عام ١٩٨٦) بحلول عام ١٩٨٩ ، وتخفيض الانتاج بنسبة ٢٠ فى المائة بحلول ١٩٩٣ ، وتخفيضه بنسبة ٣٠ فى المائة أخرى بحلول ١٩٩٨ . وبحلول عام ١٩٩٢ ، يعرض إنتاج الهالون للتجميد عند مستويات عام ١٩٨٦ .

ولكى يكون البروتوكول سارى المفعول فى التاريخ المستهدف ، وهو يناير ١٩٨٩ ، يجب أن تصدق عليه ١١ دولة ، تمثل الثلثين على الأقل من استهلاك ك ف ك الدولى . ومع حلول منتصف نوفمبر ١٩٨٨ ، وافقت ١٤ دولة بالفعل على المعاهدة ــ وهى كندا ومصر واليابان وكينيا ولكسمبورج والمكسيك ونيوزيلندا ونيجيريا والنرويج والبرتغال والاتحاد السوفيتى والسويد وأوغندا والولايات المتحدة . ولكن اشتراط تخفيض الاستهلاك إلى الثلثين لن يتم الوفاء به ما لم تصدق المجموعة الأوروبية بأكملها على المعاهدة . وهى خطوة تعهدت المجموعة باتخاذها .

ولقد تركت وسائل إنجاز هذه التخفيضات إلى حصافة كل دولة على حدة . وتستجيب معظم الدول الموقعة لفرض حدود إنتاجية على صانعى الكيماويات . ورغم أن هذا التوجه يتمشى مع الخطوط الاسترشادية للمعاهدة ، فإنه يكفل فى الواقع أن يظل أعلى المزايدين قادرين على مواصلة استعمال مركبات ك ف ك . كما أنه يضع عبء تخفيض الانبعاثات على عدد لا حصر له من المستعملين الصناعيين للكيماويات وعلى مستهلكى المنتجات المندمجين معهم .

يستدعى التحرك بسرعة لحماية طبقة الأوزون توجهاً مختلفاً ــ وهو توجه يستهدف أكبر

مصـادر الكيماويات الأكثـر استنفاداً للأوزون . ويتطلب إجراء ذلك معرفة مقدار ما يستعمل حالياً من كل مادة كيميائية ، ونمط انبعاثاتها ، والاستعمالات التى تدخل فيها . (انظر الجدول ٥) . وحينئذ فقط يمكن لكل دولة على حدة أن تجرى تقويما للجدوى التقنية والاقتصادية عن الحد من الانبعاثات الصادرة من أسواق معينة .

ويمكن إنجاز التخفيضات الفورية فى انبعاثات ك ف ك عن طريق حظر استعمال داسرات ك ف ك CFC propellants فى الايروسولات وتلافى التبخر السريع لمذيبات التنظيف . ويمكن الحصول على توفيرات وسيطة عن طريق اقتناص عوامل النفخ المستعملة فى تضخيم الرغويات المرنة ، وفى سد التسريبات فى أجهزة التبريد وتكييف الهواء ، وفى استرجاع وسائط التبريد المستنزفة عند صيانة أو اصلاح أجهزة التبريد . وتـتطلب التخفيضات طويلة الأجل استخدام طرق ناجعة للتخلص من النفايات النـاتجـة ، واستعـمال كيماويات بديلة ، وتـطوير تكنـولوجيات لا تعتمد على المواد المستنفدة للأوزون .

وحينما اتضح القلق على الأوزون فى السبعينيات ، استجابت بعض حكومات الدول الصناعية . وحيث أن نسبة ٥٦ فى المائة من إنتاج ك ف ك - ١١ وك ف ك - ١٢ معاً فى عام ١٩٧٤ كانت تستعمل فى الايروسولات ، فإن علب الرش كانت هدفاً واضحـاً . وتحت ضغط جماهيرى قوى ، قامت كندا والنرويج والسويد والولايات المتحـدة بحـظر استعمال داسرات ك ف ك فى ٩٠ فى المائة على الأقل من منتجاتها الايروسـولية . وحقق التغيير مكاسب اقتصادية وبيئية . فالهيدروكربونات ، وهى داسر propellant بديل ، أقـل تكلفـة من مركبـات ك ف ك ، ووفـرت لاقتصاد

الجدول ٥ : أنماط الاستعمال والانبعاثات للكيماويات شائعة الاستعمال ، ١٩٨٥

المركب الكيميائى	الانبعاثات	العمر الجوى[1]	الاستخدامات	معدل النمو السنوى	نسبة الاسهام إلى الاستنفاد[2]
	(ألف طن)	(بالسنين)		(فى المائة)	(فى المائة)
ك ف ك – ١٢	٤١٢	١٣٩	تكييف الهواء ، التبريد ، الايروسولات ، الرغويات	٥	٤٥
ك ف ك – ١١	٢٣٨	٧٦	الرغويات ، الايروسولات ، التبريد	٥	٢٦
ك ف ك – ١١٣	١٣٨	٩٢	المذيبات	١٠	١٢
تتراكلوريد الكربون	٦٦	٦٧	المذيبات	١	٨
ميثيل الكلوردفورم	٢٧٤	٨	المذيبات	٧	٥
هالون – ١٣٠١	٣	١٠١	أجهزة اطفاء الحرائق	غير معلن	٤
هالون – ١٢١١	٣	١٢	أجهزة اطفاء	٢٣	١
يد ك ف ك – ٢٢	٧٢	٢٢	التبريد ، الرغويات	١١	صفر

(١) الوقت محسوب على اساس اكتساح ٦٣ فى المائة من المركب الكيميائى من الجو .
(٢) الاجمالى لا يبلغ ١٠٠ بسبب تدوير الأرقام (إلى أقرب عدد صحيح) . إسهام يد ك ف ك –٢٢ مقرب إلى الصفر .

المصادر : **James K. Hammitt et al., "Future Emission Scenarios for Chemicals that May Deplete Stratospheric Ozone," *Nature*, December 24, 1987; U.S. Environmental Protection Agency, *Regulatory Impact Analysis: Protection of Stratospheric Ozone*, Volume II, Part I (Washington, D.C.: 1987); Douglas Cogan, *Stones in a Glass House: CFCs and Ozone Depletion* (Washington, D.C.: Investor Responsibility Research Center, 1988).**

الولايات المتحدة ١٦٥ مليون دولار فى عام ١٩٨٣ وحده . وتبنت المجموعة الأوروبية توجهاً مختلفاً . ففى عام ١٩٨٠ ، وافقت الدول الأعضاء على ألا تزيد من طاقتها المفرطة بالفعل لانتاج هذين المركبين من مركبات ك ف ك ، وطالبت بإجراء تخفيض نسبته ٣٠ فى المائة من استعمالها فى داسرات الايروسولات مع حلول عام ١٩٨٢ (على أساس أرقام الاستهلاك لعام ١٩٧٦) (52) .

وتبلغ التخفيضات التراكمية فى ك ف ك - ١١ وك ف ك - ١٢ ، نتيجة تقليل استعمالها فى الايروسولات بالولايات المتحدة والمجموعة الأوروبية ، ٢ مليون طن و ٠٠٠ ٥٠١ طن على التوالى ، وهو ما يكافىء الانتاج الحالى من ك ف ك - ١١ لمدة ست سنوات ، وسنة واحدة من إنتاج ك ف ك - ١٢ . وهذان الرقمان مبنيان على أساس افتراض أن استعمال ك ف ك فى الايروسولات كان سيظل فى ذروته لعام ١٩٧٤ بالولايات المتحدة وفى ذروته لعام ١٩٧٦ بدول المجموعة الأوروبية (53) .

وعلى النطاق العالمى ، فإن علب الايروسولات لا تزال أكبر مصدر لانبعاثات ك ف ك ، حيث تسهم بنحو ٠٠٠ ٢٢٤ طن سنوياً ــ أى ما يوازى ٣٣ فى المائة تقريباً من الانتاج العالمى لمادتى ك ف ك - ١١ وك ف ك - ١٢ معاً . والقلق المتزايد حول استنفاد الأوزون ، الذى تشعر به الحكومات والمستهلكون ، سوف يؤدى سريعاً إلى الحد من هذا الاستعمال . ونظراً لأن بعض الدول أخذت زمام المبادرة ، فمن المتاح حالياً وعلى نطاق واسع بدائل اقتصادية وهى أقل تكلفة فى الغالب (54) .

ولقد فرضت الدانمرك حظراً على داسرات الايروسولات فى عام ١٩٨٧ ، وأعلن حديثاً عن تخفيضات طوعية فى هذه الصناعة بنسبة ٩٠ فى المائة مع نهاية عام ١٩٨٩ فى بلجيكا وهولندا وسويسرا والمملكة المتحدة وألمانيا (الغربية) . كذلك فإن الصناع البريطانيين والسويسريين سوف يلصقون بطاقات على سلعهم تعرف المستهلكين بأنها غير معادية للأوزون . ولقد أعلن الاتحاد السوفيتى عن نواياه فى التحول إلى داسرات الايروسولات الخالية من ك ف ك مع حلول عام ١٩٩٣ . وفرنسا واليابان ودول أوروبا الشرقية والعالم الثالث هى الدول المستهلكة الرئيسية التى لم تعلن بعد عن اتخاذ إجراءات للتحكم (55) .

ورغم التزايد السريع لانبعاثات ك ف ك - ١١٣ ، فإنها قد تكون من أيسر الانبعاثات التى يمكن التحكم فيها ومن أكثرها اقتصاداً . وهذه المادة الكيميائية لا تستعمل إلا فى تنظيف المنتج النهائى ولا تدخل فى تركيبه . وعلى ذلك فإن الانبعاثات تكاد تكون فورية ، وينتج ثلاثة أرباعها من فقدان الأبخرة والباقى من التخلص من النفايات . وحظر الولايات المتحدة للتخلص من المذيبات المكلورة فى الأراضى ، الذى أصبح نافذاً فى نوفمبر ١٩٨٦ ، والتفكير فى إصدار تنظيمات مماثلة فى دول أخرى ، والتكلفة العالية لحرق ك ف ك - ١١٣ (لأنه يحتوى على الفلور السام) ، والقلق المتزايد عن استنفاد الأوزون ، كل هذه الأسباب قد أدت إلى خلق دوافع قوية لاسترجاع المذيبات وإعادة دورانها recycling (56) .

وحيث أن سعر ك ف ك - ١١٣ يبلغ ضعف سعر أى من مركبات ك ف ك الأخرى ، فإن المستثمرين فى عمليات الاسترجاع recovery وإعادة الدوران

يحققـون أرباحاً أسرع من غيرهم . وإعادة دوران ك ف ك - ١١٣ تمارس حالياً فى الموقع لدى كثير من شركات الحاسبات الكبيرة . ولقد قام مصنع تابع لشركة IBM ، ويقـع قريباً من شتوتجارت بألمانيا (الغربية) ، بتركيب وحدة لإعادة الدوران تسترجع من ٧٠ إلى ٩٠ فى المائة من مذيبات المصنع . ولقد حققت مؤسسة AT&T فى الولايات المتحـدة معـدلات مماثلة . ويمكن لشركات الالكترونيات الأصغر حجما ، والتى لا تعتبر إعادة الدوران فى مصانعها اقتصادية ، أن تبيع مذيباتها المستعملة إلى شركات إعادة الدوران التجارية أو إلى موزعى بعض شركات تصنيع الكيماويات (57) .

والتقـدم السريع فى تخفيضـات الانبعـاثات خلال العدة سنوات الماضية يدعو إلى التفاؤل من حيث تحقيق توفيرات أكثر على المدى القصير . ويتوقع هيروتوشى جوتو ، مدير برنـامـج الحـماية الاسـتراتـوسفـيرية فى اليابـان ، أن تحقق الشركـات المستعملة للمذيبات ك ف ك معدلات لإعادة الدوران تبلغ ٩٥ فى المائة . ومثل هذه الشركـات تمثـل نحو ٤٠ فى المائة من إجمالى الاستهلاك اليابانى لمركبات ك ف ك (58) .

كذلك يمكن أن يتحقق اقتناص انبعاثات ك ف ك من تصنيع الرغويات المرنة بسرعة عالية نسبياً ، إلا أنـه يتـطلب استثـماراً فى شبكـات تهوية جديدة . (عند تصنيع الرغويات الصلبة ، فإن ٩٠ فى المائة من عامل النفخ ك ف ك يظل منحبساً فى الخلايا المغلقة للمنتج) . وتؤدى أساليب الانتاج الحالية للرغويات المرنة إلى حدوث إطلاق تام وفـورى لعامل النفخ فى الجو . ولكن شبكات السحب (الشفط) الجديدة ، مقـترنـة مع تكنولوجيات امتزاز الكربون carbon adsorption ، يمكنها استعادة

ما بين ٤٠ إلى ٩٠ فى المائة من مركبات ك ف ك المحررة (59) .

وتقتنص إحدى التكنولوجيات ، المطبقة فى كل من الدانمرك والنرويج ، مركبات ك ف ك عند مرحلة النفخ وتسترجع من ٤٠ إلى ٤٥ فى المائة من الانبعاثات الاجمالية . وهناك نظام أكثر شمولاً صممته شركة هيهان للتطوير فى المملكة المتحدة ، ويمكنه استرجاع ضعف تلك النسبة تقريباً . والأسلوب التقليدى هو إنضاج الرغويات المرنة فى غرفة مكشوفة لعدة أيام مما يسمح لمركبات ك ف ك بالهروب من المنتج . وفى أسلوب هيهان ، يخفض زمن الإنضاج curing time إلى ٤٠ دقيقة ويجرى فى حيز محصور . وهذا يسمح باقتناص مركبات ك ف ك بواسطة شبكة التهوية . وتسوق شركة يونيفوم Unifoam ، وهى شركة سويسرية ، نظاماً مماثلاً يمكنه استرجاع ٨٥ فى المائة من عامل النفخ ، وهذه النسبة يمكن إعادة استعمالها بعد ذلك (60) .

وهناك مجال آخر يتيح توفيرات ملحوظة ، بتكلفة منخفضة ، هو إجراء تحسينات على قياسات التصميم والتشغيل والصيانة لمعدات وأجهزة التبريد وتكييف الهواء . وتمثل هذه الاستعمالات ٣٠ فى المائة من استهلاك مادتى ك ف ك - ١١ وك ف ك - ١٢ معاً . وتقوم نقابات مهنية كبرى عديدة بوضع كودات للممارسة codes of practice للتحكم فى تداول المعدات . ومن التوصيات الأساسية اشتراط تدريب العمال ، وقصر أعمال الصيانة والاصلاح على الأفراد المصرح لهم بذلك ، وتركيب شبكات للكشف عن التسريبات ، واستعمال مقادير أصغر من شحنات وسائط التبريد . وتشترط توصية أخرى ، وهى حظر تصريف وسائط التبريد إلى الجو مباشرة ، استعمال تكنولوجيات الاسترجاع واعادة الدوران . ولقد وجدت الدراسة المتأنية لسوق تكييف

هواء السيارات فى الولايات المتحدة ، وهى أكبر مستعمل لمادة ك ف ك - ١٢ ، أن ٣٤ فى المائة من الانبعاثات يمكن إرجاعها إلى التسريبات ، و٤٨ فى المائة منها تنجم أثناء خدمات إعادة الشحن والاصلاح ، ويحدث الباقى نتيجة الحوادث ، والتخلص من النفايات ، ومن عمليات التصنيع . ويمكن للمعدات المزودة بموانع أفضل للتسرب أن تخفض من الانبعاثات وأن تقلل الحاجة إلى صيانة أجهزة التكييف (61) .

وعند خدمة أجهزة تكييف السيارات ، فمن الممارسات القياسية الآن تصفية وسيط التبريد وتركه ليتبخر . ولقد تبينت شركات عديدة حماقة هذا الاجراء ، فقامت بتصميم أنظمة استرجاعية تسمى vampires (الترجمة الحرفية : مصاصات الدماء) . ويضخ وسيط التبريد من الضغاط (الكمبرسور) ، ثم ينقى ، ويعاد حقنه فى جهاز السيارة بواسطة معدات تكلف عدة آلاف من الدولارات . ولما كان وسيط التبريد يحتوى على ملوثات قليلة ، فإن ٩٥ فى المائة منه يمكن إعادة استعماله . كذلك يمكن تخزين وسيط التبريد ونقله إلى جهاز مركزى لإعادة الدوران ، رغم أن هذا الاختيار البديل غير مؤكد النجاح (62) .

والأسواق المستخدمة لمعدات إعادة الدوران فى الموقع تشمل شركات النقل العام وشركات تصنيع الطائرات والوكالات الحكومية ووكلاء بيع السيارات ومحطات الخدمة الكبيرة . وتقوم حالياً صناعة السيارات فى الولايات المتحدة بتطوير قياسيات للجودة تطبق على عمليات الاسترجاع وإعادة الدوران ، ويجب أن يكون قد تم تركيب البنية الأساسية والمعدات مع حلول موسم تكييف الهواء لعام ١٩٨٩ . وإذا لم يكن إجراء عمليات إعادة الدوران على مستوى مرض فى الصناعة ، فإن وكالة حماية

« لقد شرعت مدن عديدة بألمانيا (الغربية)
فى تجميع الثلاجات المنزلية المخردة لمنع وصول
مركبات ك ف ك إلى الجو » .

البيئة ستجعل الممارسة إجبارية (63) .

واسترجاع مركبات ك ف ك من السيارات والأجهزة الأخرى المخردة junked بعد سنوات من إنتاجها يتطلب إما نظاماً تجميعياً أو خطة مدعمة لتشجيع الاسترجاع بواسطة الشركات المتخصصة فى هذا العمل . ولقد شرعت مدن عديدة بألمانيا (الغربية) فى تجميع الثلاجات المنزلية المخردة لإبقاء مركبات ك ف ك فى وسيط التبريد ، ولمنع رغويات العزل من الوصول إلى الجو . وسيعاد دوران وسائط التبريد ، كما ستحرق الرغويات فى أفران تشغل عند درجات حرارة عالية . ورغم أن دولاً أخرى قليلة تفكر فى هذا التوجه ، إلا أن معظمها لا يعتبرونه اقتصادياً إلا للوحدات التجارية والصناعية الكبيرة ، وليس للأحجام الصغيرة التى يمكن استرجاعها من الأجهزة المنزلية (64) .

وعلى المدى الأطول ، فإن حظر استعمال وانبعاثات مركبات ك ف ك سوف يتطلب تطوير بدائل كيميائية لا تلحق الضرر بطبقة الأوزون . والتحدى الحقيقى هو إيجاد بدائل تؤدى نفس الوظيفة بتكلفة معقولة ، ولا تتطلب إجراء تعديلات كبرى على المعدات ، وتكون غير سامة بالنسبة إلى العمال والمستهلكين ، ولا تكون خطيرة على البيئة .

ولقد طورت بتروفيرم Petroferm ، وهى شركة صغيرة فى ولاية فلوريدا ، مذيباً بديلاً يسمى BioAct EC-7 . وهذه المادة الكيميائية مصنوعة من التربينات terpenes التى توجد فى قشور ثمار الموالح (مثل الليمون والبرتقال) ، وهى قابلة للتحلل بيولوجياً

وغير سامة وغير أكالة . وأجرت مؤسسة AT&T اختبارات على BioAct EC-7 فى ثلاثة من مصانعها ووجد أنه فعال وتنافسى اقتصادياً ، حتى لو أخذت فى الاعتبار تكلفة إحلال معدات التنظيف . وتتوقع مؤسسة AT&T ، التى استعملت نحو ١٤٠٠ طن من ك ف ك - ١١٣ فى عام ١٩٨٦ ، أن تستبدل بربع استعمالها لمركبات ك ف ك مادة BoiAct EC-7 فى غضون السنتين القادمتين . ويقدر تحليل أجرى فى خارج المؤسسة أن هذا المركب الجديد يمكن أن يكون بديلاً لنحو ٣٠ - ٥٥ فى المائة من الاستعمال المتوقع لمادة ك ف ك - ١١٣ فى صناعة الالكترونيات بالولايات المتحدة (65) .

ويبدو أن شركتى دى بون والصناعات الكيميائية الامبراطورية (ICI) ، وهما أكبر منتجين لمركبات ك ف ك ، قد اقتنعتا بأن المادة الكيميائية البديلة للمركب ك ف ك - ١٢ فى أجهزة تكييف الهواء والثلاجات هى المركبات HFC-134 a الخالى من الكلور . ولقد أعلنت دى بون بالفعل عن خطط لبناء مصنع للانتاج التجارى يكلف ٢٥ مليون دولار فى كوربس كريستى Corpus Christi بولاية تكساس . وتقول الشركة أن الانتاج السنوى سيتجاوز ١٠٠٠ طن ابتداء من عام ١٩٩٠ . وسيكون المصنع هو رابع مرفق تشيده الشركة لانتاج HFC-134 a ، والسابع فى برنامج الشركة الشامل لتطوير بدائل لمركبات ك ف ك . ومن المرجح أن يباع البديل بسعر دولارين للكيلوجرام ، وهو نحو سبعة أمثال سعر ك ف ك - ١٢ (66) .

ويجرى العمل كذلك فى تطوير عوامل نفخ كيميائية جديدة لانتاج كل من الرغويات المرنة والصلبة . ولقد أعلنت شركة يونيون كربايد Union Carbide حديثاً أنها قد وجدت بديلاً كيميائياً لنفخ رغويات البوليريثان الطرية المستعملة فى تبطين الأثاث .

وطبقاً لما أعلنته الشركة ، فإن منتجها الجديد ألتراسل Ultracel متاح بالفعل تجارياً ويمكنه أن يغنى عن ٧٠ فى المائة من مركبات ك ف ك المستخدمة فى صناعة الرغويات المرنة . كذلك فقد أعلنت دو كيميكال Dow Chemical ، وهى شركة كبرى لتصنيع رغويات العزل الصلبة ، أنها ستوقف استعمال مركبات ك ف ك مع حلول عام ١٩٨٧ (67) .

ويراهن كثير من الشركات الكبرى لتصنيع الكيماويات على جدوى وفعالية المركبات HCFC-22, -123, -141b, -142b . فذرة الهيدروجين المضافة تجعل احتمال استنفاد هذه المركبات للأوزون لا يزيد على ٥ فى المائة من استنفاده بواسطة المركبات التى ستحل محلها . ومن الناحية الأخرى فإن أسعارها ستكون أعلى بثلاثة أو خمسة أضعاف أسعار تلك المركبات (68) .

وهناك تأخير رئيسى مقترن بالانتاج التجارى للمركبات الكيميائية الجديدة ، ويتمثل فى الحاجة إلى إجراء اختبارات شاملة على سميتها ، وهى اختبارات تستمر لمدة خمس إلى سبع سنوات . وللتعجيل بهذا الاجراء فإن ١٤ من منتجى ك ف ك ، من أوروبا واليابان وكوريا والولايات المتحدة ، قد قرروا أن تتضافر جهودهم فى برنامج اختبارات مشترك يكلف عدة ملايين من الدولارات . و HFC-134a, HCFC-123 هما المركبان الكيميائيان اللذان تم اختيارهما لإجراء اختبارات طويلة المدى عليها . ولقد أثبت HCFC-22 نجاحه بالفعل . وسيتقاسم الأعضاء النتائج ، فإذا كانت واعدة ، فإنها ستعرض على الوكالات التنظيمية للتعجيل بإجراءات الموافقة (69) .

ومن المتاح حالياً بعض بدائل لعوامل نفخ الرغويات ، ولقد كانت تستعمل بالفعل طوال عدة سنوات . وهذه البدائل تشمل كلوريد الميثيلين والبنتان وثانى أكسيد الكربون . ورغم أنها لا تزال تعتبر بدائل ممكنة ، إلا أن كلا منها له عيوبه . فكلوريد الميثيلين مادة محدثة للسرطان ومن الصعب التخلص من نفاياتها ، والبنتان شديد القابلية للاشتعال ويسهم فى الضباب الدخانى الكيميائى الضوئى ، وتنتج عن ثانى أكسيد الكربون رغويات مرنة عالية الكثافة ورغويات صلبة لها خواص عزل ضعيفة (70) .

وفى بعض الحالات ، فإن تصميم منتجات جديدة قد يقلل من الحاجة إلى مركبات ك ف ك والكيماويات البديلة أو يغنى عنها تماماً ويحقق فى الوقت ذاته مكاسب إضافية . ففى السيارات ، على سبيل المثال ، يمكن لنوافذ التهوية الجانبية ، وزجاج النوافذ الذى يبطىء امتصاص أشعة الشمس ، ونظم التهوية الشمسية الجديدة ، أن تقلل من الحاجة إلى التدفئة الداخلية ، وتخفض أو تلغى الحاجة إلى تكييف الهواء ، وبالتالى توفر من الطاقة . ولقد طورت ثلاجات الهيليوم ، التى استعملت طويلاً فى الأغراض الفضائية والعسكرية ، للاستخدام المدنى فى الشاحنات (اللوارى) والمنازل . وستنتج قريباً شركة كرايوداينامكس Cryodynamics ، ومقرها فى نيوجيرسى ، ٩ ملايين ثلاجة تبرد بالهيليوم فى شنغهاى . وتستعمل هذه الوحدات طاقة تقل عن نصف ما تستعمله الأنظمة المألوفة . وفى اليابان ، تستعمل وسائط التبريد النشادرية فى المبانى التجارية ذات الكفاية العالية فى استهلاك الطاقة (71) .

وقد تستبدل فى النهاية بمواد العزل المصنوعة من الرغويات الصلبة ، والمستعملة فى

الثلاجات ووحدات التجميد ، طريقة العزل بالتفريغ vacuum insulation ، وهو الأسلوب المستعمل فى قوارير الترامس thermos bottles . وتوضح الأبحاث التى أجريت فى معهد بحوث الطاقة الشمسية بالولايات المتحدة أن الأطر المفرغة من الهواء vacuum panels تحتل حيزاً أقل من الرغويات وتجعل الأجهزة المنزلية أكثر كفاية من حيث استعمال الطاقة (72) .

ويبدو أن انبعاثات الهالونات يسهل خفضها نسبياً ، رغم عدم وجود بدائل واعدة فى الأفق القريب . ومعظم الهالونات المنتجة لا تستعمل على الاطلاق ، بل يكتفى بأن تكون متاحة فى حالة الطوارىء . وفى الوقت الحاضر ، يجرى اختبار الغمر بالهالونات عند تركيبها لأول مرة بإطلاق كل الغاز فى النظام . ويسهم اختبار التصريف discharge testing حالياً فى انبعاثات أكثر مما تسهم به مكافحة الحرائق . وسيؤدى استعمال كيماويات بديلة أو إجراءات اختبارات أخرى توافق عليها صناعة التأمين وتمنع التصريفات العرضية إلى خفض الانبعاثات السنوية بنسبة الثلثين (73) .

وهناك مصدر كبير آخر لانبعاثات الهالونات ، هو تدريب مكافحى الحرائق . ولقد قررت السلطات العسكرية بالولايات المتحدة حديثاً ، فى برنامج من أكبر البرامج فى العالم ، استعمال المحاكيات simulators التى لا تتطلب إطلاقاً فعلياً للكيماويات . وتؤسس شركة ICI خدمة لإعادة دوران الهالون ١٢١١ ، وذلك حتى يمكن استرجاعه من الامدادات الملوثة وتلك التى قد يلزم التخلص منها (74) .

ويتفاوت تفاوتاً عظيمًا التوجه الذى تتخذه الدول والصناعات لخفض انبعاثات

ك ف ك والهالونات . وعلى سبيل المثال ، تفكر بعض الشركات بالسويد فى تطوير منتجات وأساليب بديلة كفرصة سانحة اقتصادية . وهى تتوخى فتح أسواق دولية جديدة فى اقتصاد عالمى متغير . ومن الناحية الأخرى ، فإن المنتجين الرئيسيين للمواد الكيماوية فى فرنسا واليابان والمملكة المتحدة وألمانيا (الغربية) كانت لهم نظرة تقليدية تتمثل فى اعتبار وسائل التحكم فى الانبعاثات بمثابة تهديد لتنافسيتهم الدولية . ولقد كانـوا ينفـرون من المضى فى اتخـاذ إجراءات تحكم من جانب واحد خشية فقدان حصتهم من الأسواق .

ولقد حان الوقت للتساؤل عما إذا كانت الوظائف التى تؤديها مركبات ك ف ك ضرورية فى الواقع ، وإذا كان الأمر كذلك ، فهل من الممكن تأديتها بوسائل جديدة . وعلى سبيل المثـال ، هل يلزم تنظيف كل جذاذات الحاسبات computer chips ؟ وبالنسبة لتلك التى يلزم تنظيفها ، هل تكفى المذيبات ذات الأساس المائى أو الكحولى ؟ ولا يسمـح جيش وبحـرية الولايات الكتحدة بتوجيه هذا السؤال . فهما يشترطان تنـظيف المكـونـات الالكـترونية بمركبات ك ف ك ، وعلى ذلك فإنهما لا يشجعان الشركات الصانعة على استكشاف البدائل (75) .

وإذا تم استخدام كل إجراءات التحكم التقنية المعروفة ، فمن الممكن خفض إجمالى الانبعاثات من ك ف ك ومن الهالونات بنحو ٩٠ فى المائة . وكثير من استراتيجيات التحكم هذه فعالة بالمقارنة بالتكلفة بالفعل ، وسيصبح المزيد منها فعالاً أيضاً حينما تؤدى التنظيمات واللوائح إلى رفع أسعار الكيماويات المستنفدة للأوزون . والسرعة التى ستـطبق بها وسائل التحكم هى التى ستحدد مدى استنفاد الأوزون فى السنوات

القادمة وحينها تبدأ مداواة طبقة الأوزون .

ما بعد مونتريال

إن إبـرام معاهدة دولية تستهدف التخفيض النصفى لمادة كيميائية متسلطة وغير مرئية ، ويخشى أن تكون مسئولة عن تدمير درع غير مرئى ، أمر لم يسبق له مثيل . ويعتبر الإنجاز تكريماً لبرنامج البيئة التابع للأمم المتحدة والذى كان بمثابة رأس الحربة للجهود المبذولة وللمفاوضين الحكوميين من جميع الدول ، وخاصة أولئك الأعضاء فيما يسمى مجمـوعـة تورنتو الذين ظلوا يلحون على إصدار تنظيمات أكثر تشدداً ، ولكثير من المؤسسات غير الحكومية والعلماء الذين جهدوا للحصول على تأييد صانعى القرارات السياسية والجمهور العام .

ولسـوء الحـظ ، ولأسبــاب عـديدة ، فإن بروتــوكـول مونـتريال لن ينقـذ طبقـة الأوزون . وأول هذه الأسباب أن كثيراً من وسـائل الإقناع قد اقـترحت لتحسين صـورة المعاهـدة فى أعين الموقعين المأمولين . وهذه الوسائل شملت تمـديد المـواعيد النهائية للـدول النامية وللاقتصاديات ذات التخطيط المـركزى ؛ والسماح بتجاوزات لإعـادة هيكلية الصنـاعـة ، ووضـع تعـريفـات فضفاضة للمنتجات التى يمكن تسويقها شـرعياً على المستوى الـدولى . ويعنى التأثـير المـتراكم لهذه الثغـرات أنه حتى مع المشاركـة على نطـاق واسـع الانتشار فإن هـدف البروتوكول من تنصيف استعـمال ك ف ك فى جميع أنحـاء العالم مع حلول عام ١٩٩٨ لن يمكن الوفاء به (76) .

وثانياً ، فإن النتائج العلمية الحديثة توضح أن ما تم استنفاده بالفعل من الأوزون يفوق ما افترض المفاوضون أنه سيحدث فى مائة عام . ولقد استخلص تقرير حديث أعدته وكالة حماية البيئة (EPA) أنه بحلول عام ٢٠٧٥ ، وحتى مع المشاركة العالمية بنسبة ١٠٠ فى المائة فى البروتوكول ، فإن تركيزات الكلور فى الجو ستتضاعف ثلاث مرات . إن الاتفاقية لن توقف الاستنفاد ، وإنما ستبطىء من تسارعه (77) .

وثالثاً ، أن العديد من الكيماويات التى لم يشملها التنظيم وفقاً للمعاهدة يعتبر تهديدات رئيسية لطبقة الأوزون . فميثيل الكلوروفورم وتتراكلوريد الكربون أسهما معاً فى نسبة ١٣ فى المائة من إجمالى الأوزون المستنفد فى عام ١٩٨٥ . ومع تناقص استعمال الكيماويات المتحكم فيها ، سيتنامى إسهام هذين المركبين غير المحكومين . ويستعمل ميثيل الكلوروفورم مذيباً على نطاق واسع ، وخاصة فى تنظيف المعادن . وتتراكلوريد الكربون ، رغم أنه يستعمل أساساً فى تصنيع مركبات ك ف ك فى الدول الصناعية الغربية ، إلا إنه لا يزال يستعمل مذيباً فى الدول الأوروبية الشرقية وفى الدول النامية . وتتجاوز الانبعاثات الحالية من ميثيل الكلوروفورم انبعاثات أى من مركبات ك ف ك . وإن عمره القصير فى الجو ، وهو ثمانى سنوات ، يجعله واحداً من الكيماويات القليلة التى سيؤدى التحكم فيها إلى الحصول على نتائج سريعة (78) .

والإقرار بأن التدفئة العالمية قد تكون بدأت بالفعل سيدعم المطالبة بإحداث تخفيضات تالية وسريعة فى انبعاثات ك ف ك . وتسهم مركبات ك ف ك حالياً فى ١٥ - ٢٠ فى المائة من ظاهرة الصوبة ، وهى تمتص الأطوال الموجية للإشعاع فوق البنفسجى الذى قد تسمح غازات الصوبة الأخرى بهروبه . ومن المحقق أن جزيئاً

« أن الإقرار بأن التدفئة العالمية قد تكون بدأت بالفعل سيدعم المطالبة بإحداث تخفيضات تالية وسريعة فى انبعاثات ك ف ك » .

واحداً من أكثر مركبات ك ف ك استعمالاً تبلغ فعاليته فى احتباس الحرارة ما يعادل فعالية ١٥ ٠٠٠ جزىء من ثانى أكسيد الكربون ، وهو أكثر غازات الصوبة وفرة . وحيث أنه لا يوجد سوى نحو عشرين شركة منتجة للكيماويات ، فإن مركبات ك ف ك هى أسهل غازات الصوبة التى يمكن التحكم فيها . ومنع انبعاثات ك ف ك هو الوسيلة الوحيدة لإحداث خفض سريع فى معدل ارتفاع درجات الحرارة (79) .

وفى ضوء هذه النتائج العلمية ، فإن الشىء المنطقى هو أن تقوم الدول جميعاً بالحظر الفعلى لانبعاثات ك ف ك والهالونات فى أسرع وقت ممكن . كذلك فإن انبعاثات المركبات الأخرى المحتوية على الكلور والبروم ، والتى لا تغطيها حالياً المعاهدة ، يلزم التحكم فيها بل وإيقافها تماماً فى بعض الحالات . وطبقاً لتحليلات وكالة حماية البيئة (EPA) ، فإن ٤٥ فى المائة من التنامى المتوقع للكلور فى الاستراتوسفير مع حلول عام ٢٠٧٥ سوف ينشأ من الاستعمال المسموح به للمركبات المتحكم فيها ، و٤٠ فى المائة سيأتى من الكيماويات المحتوية على الكلور وغير المسترجعة ، و١٥ فى المائة من الانبعاثات الصادرة من دول غير مشاركة (80) .

وتوقيت الحظر أمر بالغ الأهمية . ولقد قام المحللون فى وكالة حماية البيئة بفحص تأثيرات حظر ك ف ك بنسبة ١٠٠ فى المائة مع حلول عام ١٩٩٠ ، وحظره بنسبة ٩٥ فى المائة مع حلول عام ١٩٩٨ . وسوف تتفاوت تركيزات الكلور الذروية بمقدار ٠,٨ جزءاً فى البليون ، أى قريباً من ثلث المستويات الحالية . وفى حالة الحظر الأبطأ ، فإن الكسح الجوى سيمتد امتداداً ملحوظاً ، وستظل مستويات الكلور أعلى من الذروة المرتبطة بالبرنامج الزمنى المعجل لمدة ٥٠ عاماً على الأقل (81) .

وكما سبق أن لاحظنا ، فإنه من الممكن تقنياً خفض انبعاثات ك ف ك والهالونات بنسبة ٩٠ فى المائة على الأقل . والتحدى الحقيقى هو أن تكرس الحكومات إرادتها السياسية للإقدام على ذلك .

٤:٥

والسويد هى أول دولة تتحرك إلى ما هو أبعد من مجرد التصديق على حظر نظرى . ففى يونيو ١٩٨٨ ، وافق البرلمان ، بعد مناقشات مستفيضة مع الصناعة ، على تشريع يشتمل على توقيتات نهائية محددة لحظر استعمال مركبات ك ف ك فى المنتجات الجديدة . فالاستهلاك يجب أن يخفض إلى النصف مع حلول عام ١٩٩١ ، وأن يمنع تماماً مع حلول عام ١٩٩٥ . ويجب حظر الاستعمال فى التعقيم واستعمال الكمية الصغيرة المتبقية فى الايروسولات مع نهاية عام ١٩٨٨ . ويجب أن يوقف الاستعمال فى مواد التغليف والتعبئة بعد ذلك بعام . ويجب أن يتوقف إنتاج مركبات ك ف ك المستعملة كمذيبات هندسية ولنفخ رغويات البوليستيرين المرنة والمبثوقة مع حلول عام ١٩٩١ . ويجب إيقاف الاستعمالات فى القولبة بالنفخ blow molding للرغويات الصلبة ، وفى التنظيف على الجاف ، وفى وسائط التبريد ، مع نهاية ١٩٩٤ كآخر موعد . ويحظر تحت أى الظروف أن تستبدل بمركبات ك ف ك كيماويات أخرى تهدد بأخطار بيئية أو صحية (82) .

وإذا اتضح أنه من الممكن إيقاف أى من هذه الاستعمالات فى مواعيد أقرب من تلك المنصوص عليها ، فعلى الصناعات السويدية أن تفعل ذلك . وفى غضون تلك الفترات ، تخطط الحكومة السويدية لتقديم حوافز ودعم مالى لبحوث وتطويرات تكنولوجيات الاسترجاع وإعادة الدوران والمنتجات البديلة والوسائل الكفيلة لمنع

مركبات ك ف ك المستبعدة من الوصول إلى الجو . وهذا الإجراء الأخير يتضمن أنظمة التجميع لوسائط التبريد وتكنولوجيات حرق الرغويات الصلبة . والسويد مسئولة حالياً عن أقل من واحد فى المائة من الاستعمال العالمى لمركبات ك ف ك ، وعلى أية حال ، فإن توجهها يجب أن تتبناه دول أخرى عديدة قبل أن يتحقق تخفيض ملحوظ فى الانبعاثات على النطاق العالمى (83) .

ولقد بدأ تأييد على نطاق أوسع لمفهوم الحظر فى الظهور على أثر نشر تقرير هيئة اتجاهات الأوزون التابعة لمؤسسة ناسا . وكانت دى بونت ، وهى أكبر مصنع لمركبات ك ف ك فى العالم ، أول شركة تلتزم بإيقاف كل إنتاجها من مركبات ك ف ك مع حلول عام ٢٠٠٠ . وسرعان ما أقرت شركات أخرى ، مثل Pennwalt, ICI, Allied Signal ، خططاً مماثلة ، ولكن معظمها فشل فى وضع جدول زمنى لإيقاف إنتاج تلك الكيماويات (84) .

وكانت الصناعات التى تستعمل مركبات ك ف ك فى صنع منتجات استهلاكية هى الأبطأ فى الاستجابة . وكان منتجو الايروسولات ومستعملو مواد التغليف الرغوية ، الذين يستطيعون الحصول على بدائل والذين كانوا قد تعرضوا لضغوط من المستهلكين ، هم الأكثر استعداداً للاستغناء عن مركبات ك ف ك . ومن الناحية الأخرى ، أحجم صانعو أجهزة التبريد وتكييف الهواء عن الخوض فى إجراء تعديلات مكلفة على المعدات والعدد . وبالنسبة لهم ، فإن مركبات ك ف ك تمثل نسبة مئوية ضئيلة جداً من تكاليف الانتاج ، ويبدو أنهم مستعدون لدفع السعر الأعلى الذى يتطلبه استعمال البدائل والكيماويات المصرح بها . ولسوء الحظ ، فإن

واحـداً من أكثر استعمالات مركبات ك ف ك تحقيقاً للمكاسب ــ وهو استعمالها فى إنتاج رغويات العزل الموفرة للطاقة ــ قد تباع بأسعار باهظة فى السوق .

٥٦ ولقد أقرت الوكالات البيئية فى المملكة المتحدة والولايات المتحدة وألمانيا (الغربية) إجراء تخفيضات فى الانبعاثات لا تقل عن ٨٥ فى المائة . وهذا يمثل تحولاً ملحوظاً فى المملكة المتحدة وألمانيا (الغربية) ، واستئنافاً لسياسة طويلة الأجل فى الولايات المتحدة . ويمثل منتجو الكيماويات فى هذه الدول الثلاث ما يزيد على نصف الانتاج العـالمى من المواد المتحكم فيها . ونظراً لمكانة هذه الحكومات الراسخة فى الدوائر الاقتصـادية والـدبلوماسية الدولية ، فإن لديها الفعاليات القوية للتأثير على الدول الأكثر تمرداً (85) .

وفـرض ضريبة على المنتجات الجديدة من مركبات ك ف ك ومواد استنفاد الأوزون الأخرى هو إحدى الوسائل التى تمكن الحكومات من خفض الانبعاثات والتعجيل بتبنى كيماويات وتكنــولــوجيات جديدة . وإذا زادت الضريبـة زيادة تتمشى مع تخفيضـات الانتـاج الاجبـارية ، فإنها ستلغى المكـاسب المفـاجئـة وغـير المتـوقعة للمنتجـين ، وتشجـع الاسترجاع وإعادة الدوران ، وتحث على استعمال كيماويات جديدة ، وتهيىء مصـدراً لتمـويل التكنـولـوجيات الجـديدة والأبحاث المطلوبة . وتشجيع الاستثـمارات فى شبكـات إعـادة الـدوران ، وفى أفـران حرق الرغويات الصلبـة ، وفى أنظمة تجميع الكيماويات التى لا مفر من استبعادها ، لا شك أنها ستخفض بصـورة ملحوظة الانبعاثات من المنتجات الحالية ، ومن أشغال الخدمة والصيانة ، ومن العمليات الانتاجية الجديدة (86) .

« لقد أقرت الوكالات البيئية فى المملكة المتحدة والولايات المتحدة وألمانيا (الغربية) إجراء تخفيضات فى الانبعاثات لا تقل عن ٨٥ فى المائة » .

ورغم أن منتجى الكيماويات ينفقون نحو ١٠٠ مليون دولار سنوياً لتطوير بدائل كيميائية مأمونة ، فإنهم لا يتحمسون لتصميمات المنتجات البديلة التى ستنافسهم فى الأسواق . والبحوث التى تجرى على أساليب التبريد وتكييف الهواء والعزل الجديدة ، هى الأجدر بالدعم الحكومى . وحظر استعمال مركبات ك ف ك فى هذه التطبيقات سيؤدى إلى حماية طبقة الأوزون وتأخير ظاهرة الصوبة ــ مباشرة عن طريق خفض انبعاثات ك ف ك وبصورة غير مباشرة عن طريق تشجيع تكنولوجيات أكثر توفيراً للطاقة وتقلل من انبعاثات ثانى أكسيد الكربون . ومما يبعث على السخرية تكييف هواء السيارات والمكاتب والمصانع بمعدات تشغل بأنواع من الوقود ، وتعتمد على كيماويات ، تدفىء الكرة الأرضية . ولسوء الحظ ، فإن التمويل الدولى لتطوير مثل هذه التكنولوجيات يقل حالياً فى مجموعه عن ٥ ملايين دولار (87) .

٥٧

وكما سبق أن ذكرنا فى سياق بروتوكول مونتريال ، فإن نتائج هذه البحوث ، علاوة على التكنولوجيات والأساليب الجديدة ، يجب أن تشارك فيها الدول النامية . فلا شك أن استنفاد الأوزون وتدفئة الطقس عالميان فى تأثيرهما . وعدم المشاركة فى المعلومات المتعلقة بأحدث التطويرات يشبه رفضك أن تخبر سائق سيارة توشك أن تصدمك عن مكان وجود الفرامل . كما أنه يكفل استمرار حدوث الأضرار البيئية ومواصلة استعمال معدات عتيقة لسنوات قادمة ، مما يزيد من تدهور القاعدة التكنولوجية للعالم الثالث .

والدول النامية جزء هام من استراتيجية التحكم ، نظراً لتعداداتها السكانية الكبيرة والمتنامية واستعمالاتها المتزايدة بسرعة لمركبات ك ف ك . ومن الدول النامية الأساسية

البرازيل والصين والهند واندونسيا وكوريا الجنوبية . ففى الصين ، على سبيل المثال ، نجد أن أسرة واحدة فقط من كل عشر أسر تملك الآن ثلاجة ، ولكن الحكومة تأمل فى أن يحتوى كل مطبخ على واحدة منها مع حلول عام ٢٠٠٠ . وكوريا الجنوبية والبرازيل تلعبان الآن دوراً رئيسياً وسريعاً فى السوق العالمية للسيارات (88) .

وبناء على بروتوكول مونتريال ، هناك برنامج زمنى لإجراء تقويم علمى لاستنفاد الأوزون الحالى يستغرق الفترة من أبريل إلى أغسطس ١٩٨٩ . ويلى هذا فى أبريل ١٩٩٠ عقد اجتماع للمفاوضين المشاركين فى المعاهدة لمناقشة النتائج ولاتخاذ قرارات بالاجراءات التالية اللازمة . ونظراً للتطورات الحديثة ، فإن دكتور مصطفى طلبة ، المدير التنفيذى لبرنامج البيئة فى الأمم المتحدة ، كما أنه محرك أساسى وراء المعاهدة ، يتلقى التماسات واسعة النطاق للتعجيل بالاجراء ، وهو شخصياً يحبذ ذلك . ولقد سبق له أن تعهد بإعادة فتح ملف الاتفاقية إذا اتضح أن الثقب فوق المنطقة القطبية الجنوبية كان سببه مركبات ك ف ك . ويبدو أن المملكة المتحدة والولايات المتحدة وألمانيا (الغربية) ، ولعل اليابان والاتحاد السوفيتى كذلك ، على استعداد لاتخاذ إجراءات أسرع . وفرنسا هى الدولة المنتجة الرئيسية الوحيدة التى لا تزال متثاقلة (89) .

والأسس العلمية لاستنفاد الأوزون وتغير الطقس معروفة ، وهناك اتفاق واسع النطاق على أن كليهما قد بدآ بالفعل . ورغم أن النماذج الحالية للتغير الذى سيحدث فى المستقبل تتفاوت فى تنبؤاتها ، إلا أن البراهين واضحة بما يكفى لتبريد الاستجابة الفورية . ونظراً لضياع وقت ثمين حينما تراخت الحكومات والصناعات فى بذل

جهودها التنظيمية والبحثية خلال أوائل الثمانينيات ، فإن الحاجة ملحة الآن إلى برنامج حاسم . فالصحة البشرية والموارد الغذائية والطقس العالمى تعتمد جميعاً اعتماداً محورياً على الدعم الذى يمكن اكتسابه لوضع نهاية لانبعاثات الكلور والبروم .

1. Joseph C. Farman et al., "Large Losses of Total Ozone in Antarctica Reveal Seasonal ClO_x /NO_x Interaction," *Nature*, May 16, 1985; Paul Brodeur, "Annals of Chemistry: In the Face of Doubt," *New Yorker*, June 9, 1986.

2. Subcommittee on Environmental Protection and Subcommittee on Hazardous Wastes and Toxic Substances, *Implications of the Findings of the Expedition to Investigate the Ozone Hole over the Antarctic*, Committee on Environment and Public Works, U.S. Senate, October 27, 1987.

3. National Aeronautics and Space Administration (NASA), "Executive Summary of the Ozone Trends Panel," Washington, D.C., March 15, 1988.

4. United Nations Environment Program (UNEP), "Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer," 1987; country updates from United Nations (UN) Treaty Office, New York; Office of Technology Assessment (OTA), U.S. Congress, "An Analysis of the Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer," Washington, D.C., December 10, 1987 (rev. February 1, 1988); NASA, "Ozone Trends"; John S. Hoffman and Michael J. Gibbs, *Future Concentrations of Stratospheric Chlorine and Bromine* (Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency (EPA), 1988).

5. James E. Hansen, NASA Goddard Institute for Space Studies, Testimony before the Committtee on Energy and Natural Resources, U.S. Senate, June 23, 1988; Linda J. Fisher, EPA, Testimony before the Subcommittee on Energy and Power, Committee on Energy and Commerce, U.S. House of Representatives, September 22, 1988; T.M.L. Wigley, "Future CFC Concentrations under the Montreal Protocol and Their Greenhouse-effect Implications," *Nature*, September 22, 1988.

6. Farman et al., "Large Losses"; Mario Molina and F. Sherwood Rowland, "Stratospheric Sink for Chlorofluoromethanes: Chlorine Atom Catalyzed Destruction of Ozone," *Nature*, June 28, 1974.

7. Douglas G. Cogan, *Stones in a Glass House: CFCs and Ozone Depletion* (Washington, D.C.: Investor Responsibility Research Center, 1988); Richard S. Stolarski, "The Antarctic Ozone Hole," *Scientific American*, January 1988.

8. Susan Soloman, National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), interview on "The Hole in the Sky," *NOVA*, WGBH-Boston, February 24, 1987.

9. Stolarski, "The Antarctic Ozone Hole"; "Airborne Antarctic Ozone Experiment," NASA, Washington, D.C., July 1987; Shirley Christian, "Pilots Fly over the Pole into the Heart of Ozone Mystery," *New York Times*, September 22, 1987.

10. Mario J. Molina et al., "Antarctic Stratospheric Chemistry of Chlorine Nitrate, Hydrogen Chloride, and Ice: Release of Active Chlorine," *Science*, November 27, 1987; Mario Molina, "The Antarctic Ozone Hole," *Oceanus*, Summer 1988; F. Sherwood Rowland, University of California at Irvine, Testimony before the Committee on Environment and Public Works, U.S. Senate, September 14, 1988.

11. James G. Anderson, Harvard University, Testimony before the Environmental Protection and the Hazardous Wastes and Toxic Substances Subcommittees, Committee on Environment and Public Works, U.S. Senate, October 27, 1987.

12. Molina, "The Antarctic Ozone Hole"; NASA, "Ozone Trends."

13. Michael McElroy, "The Challenge of Global Change," *New Scientist*, July 28, 1988; Donald R. Blake and F. Sherwood Rowland, "Continuing Worldwide Increase in Tropospheric Methane, 1978 to 1987," *Nature*, March 4, 1988.

14. Pamela S. Zurer, "Studies on Ozone Destruction Expand Beyond Antarctic," *Chemical and Engineering News*, May 30, 1988.

15. Ibid.; Malcolm W. Browne, "New Ozone Threat: Scientists Fear Layer is Eroding at North Pole," *New York Times*, October 11, 1988.

16. Zurer, "Studies on Ozone Destruction"; Molina, "The Antarctic Ozone Hole"; John Gribben, "Satellite Failure Threatens Ozone Probe," *New Scientist*, July 14, 1988.

17. Rowland, Testimony; R. Monastersky, "Arctic Ozone: Signs of Chemical Destruction," *Science News*, June 11, 1988; Robert T. Watson, NASA, Testimony before the Environmental Protection and the Hazardous Wastes and Toxic Substances Subcommittees, Committee on Environment and Public Works, U.S. Senate, October 27, 1987.

18. NASA, "Ozone Trends."

19. Ibid.; McElroy, "Challenge of Global Change."

20. Robert T. Watson, "Present State of Knowledge of the Ozone Layer," presented to The Changing Atmosphere: Implications for Global Security, Toronto, June 27–30, 1988; Rowland, Testimony.

21. James Gleik, "Even with Action Today, Ozone Loss Will Increase," *New York Times*, March 20, 1988.

22. NASA, "Ozone Trends"; EPA, *Regulatory Impact Analysis: Protection of Stratospheric Ozone*, Vol. I (Washington, D.C.: 1987).

23. J.C. van der Leun, "Health Effects of Ultraviolet Radiation," draft report to the UNEP Coordinating Committee on the Ozone Layer, Effects of Stratospheric Modification and Climate Change, Bilthoven, Netherlands, November 19–21, 1986 (hereinafter cited as UNEP Coordinating Committee).

24. Ibid.; Paul Strickland et al., "Sunlight, Ozone, and Skin Cancer," *Health & Environment Digest*, May 1988; "Effects of Ozone Layer Modification," UNEP Coordinating Committee; EPA, *Regulatory Impact Analysis*; Polly Penhale, National Science Foundation, Washington, D.C., private communication, September 28, 1988

25. National Cancer Institute, *1987 Annual Cancer Statistics Review: Including Cancer Trends: 1950–1985* (Bethesda, Maryland: National Institutes of Health, 1987); Arjun Makhijani et al., *Saving Our Skins: Technical Potential and Policies for the Elimination of Ozone Depleting Chlorine Compounds* (Washington, D.C.: Environmental Policy Institute/Institute for Energy and Environmental Research, 1988); EPA, *Regulatory Impact Analysis*.

26. Robin Russell Jones, "Ozone Depletion and Cancer Risk," *Lancet*, August 22, 1987; Janice Longstreth, "Health Effects Associated with Stratospheric Ozone Depletion," in *The Sky Is the Limit*, Dr. Karola Taschner, editor, (Brussels: European Environmental Bureau, 1987); Darrel Rigel, New York University Medical Center, Testimony before the Subcommittee on Health and the Environment, Committee on Energy and Commerce, U.S. House of Representatives, March 9, 1987.

27. EPA, *Regulatory Impact Analysis*.

28. Margaret Kripke, M.D., Anderson Hospital and Tumor Institute, Testimony before the Environmental Protection and the Hazardous Wastes and Toxic Substances Subcommittees, Committee on Environment and Public Works, U.S. Senate, May 12–14, 1987; EPA, *Regulatory Impact Analysis*; Janice Longstreth, ICF Inc., Washington, D.C., private communication, September 28, 1988.

29. EPA, *Regulatory Impact Analysis*; Longstreth, private communication; "Chlorofluorocarbons: A Valuable Chemical Threatens the Atmosphere," *Health & Environment Digest*, May 1988.

30. "Risks to Crops and Terrestrial Ecosystems From Enhanced UV-B Radiation," draft report to the UNEP Coordinating Committee; Alan Teramura, "The Potential Consequences of Ozone Depletion Upon Global Agriculture," in J. Titus, ed., *Effects of Changes in Stratospheric Ozone and Global Climate*

(Washington, D.C.: EPA, 1986); Alan H. Teramura and N.S. Murali, "Intraspecific Differences in Growth and Yield of Soybean Exposed to Ultraviolet-B Radiation Under Greenhouse and Field Conditions," *Environmental and Experimental Botany*, Vol. 26, No. 1, 1986.

31. James Falco, director, Office of Environmental Processes and Effects Research, EPA, Testimony before the Subcommittee on Natural Resources, Agriculture Research and Environment, Committee on Science, Space and Technology, U.S. House of Representatives, March 10 and 12, 1987.

32. Robert C. Worrest, "What Are the Effects of UV-B Radiation on Marine Organisms?" Testimony before the West German Bundestag, Commission on Preventive Measures to Protect the Earth's Atmosphere, April 27, 1988.

33. Robert C. Worrest, "Solar Ultraviolet-B Radiation Effects on Aquatic Organisms," draft report to the UNEP Coordinating Committee; "Dinosaurs Doomed by a Dearth of Plankton," *New Scientist*, March 17, 1988.

34. Worrest, "Solar Ultraviolet-B Radiation Effects."

35. Office of Air and Radiation, *Assessing the Risks of Trace Gases that Can Modify the Stratosphere* (Washington, D.C.: EPA, 1987).

36. Philip Shabecoff, "Ozone Pollution is Found at Peak in Summer Heat," *New York Times*, July 31, 1988; Harold Dovland, "Monitoring European Transboundary Air Pollution," *Environment*, December 1987; EPA, *Regulatory Impact Analysis*.

37. Private communications with officials at EPA, National Science Foundation, U.S. Department of Agriculture, and National Institutes of Health; Hartmut Keune, Ecological Research Division, West German Ministry for Research and Technology, Bonn, private communication, June 28, 1988.

38. EPA, *Regulatory Impact Analysis*.

39. Cogan, *Stones in a Glass House*.

40. Chemical Manufacturers Association (CMA), "Production, Sales, and Calculated Release of CFC-11 and CFC-12 Through 1986," Washington, D.C., November 18, 1987.

41. Michael Weisskopf, "CFCs: Rise and Fall of Chemical 'Miracle'," *Washington Post*, April 10, 1988; EPA, Addenda to *Regulatory Impact Analysis*; *The Montreal Protocol: A Briefing Book* (Rosslyn, Virginia: Alliance for Responsible CFC Policy, 1987).

42. Steve Risotto, Halogenated Solvents Industry Alliance, Washington, D.C, private communication, August 31, 1988.

43. Cogan, *Stones in a Glass House.*

44. Ron Wolf, "Ozone Layer Negotiations Target Chlorofluorocarbons," *Journal of Commerce,* August 13, 1987; Alliance for Responsible CFC Policy, *The Montreal Protocol.*

45. Cogan, *Stones in a Glass House;* P.H. Gamlen et al., "The Production and Release to the Atmosphere of CCl_3F and CCl_2F_2 (Chlorofluorocarbons CFC-11 and CFC-12)," *Atmospheric Environment,* Vol. 20, No 6, 1986; Elizabeth Festa Gormley, Chemical Manufacturers Association, Washington, D.C., private communication, August 31, 1988; Christopher F.P. Bevington, Metro Consulting Group, Ltd., London, private communication, May 23, 1988; Risotto, private communication.

46. EPA, *Regulatory Impact Analysis;* Richard Monastersky, "Decline of the CFC Empire," *Science News,* April 9, 1988; House of Commons Environment Committee, *Air Pollution* (London: Her Majesty's Stationery Office, 1988); Cogan, *Stones in a Glass House;* "White Paper on the Environment in Japan 1988," Japanese Environment Agency, May 1988.

47. CMA, "Production, Sales, and Calculated Release."

48. Cogan, *Stones in a Glass House.*

49. CMA, "Production, Sales, and Calculated Release"; Risotto, private communication.

50. Michael Weisskopf, "EPA Urges Halt in Use of CFCs," *Washington Post,* September 27, 1988; Hoffman and Gibbs, *Future Concentrations.*

51. UNEP, "Montreal Protocol"; UN Treaty Office.

52. Cogan, *Stones in a Glass House;* CMA, "Production, Sales, and Calculated Release"; Michael Kavanaugh et al., "An Analysis of the Economic Effects of Regulatory and Non-regulatory Events Related to the Abandonment of Chlorofluorocarbons as Aerosol Propellants in the United States From 1970 to 1980, with a Discussion of Applicability of the Analysis to Other Nations," ICF Inc., Washington, D.C., February 1986 (rev.); Nigel Haigh, *EEC Environmental Policy & Britain* (Harlow, Essex: Longman Group UK, Ltd., 1987).

53. Haigh, *EEC Environmental Policy & Britain;* cumulative emissions reductions from EPA, *Regulatory Impact Analysis;* CMA, "Production, Sales, and Calculated Release."

54. CMA, "Production, Sales, and Calculated Release."

55. "The Aerosol Industry and CFCs: A Parting of the Ways," *ENDS Report*, January 1988; Mark Vandenreeck, Belgian Embassy, Washington, D.C., private communication, April 14, 1988; Wolf Dieter Garber, Umweltbundesamt, Berlin, West Germany, private communication, June 24, 1988; "Aerosol Makers to Offer Voluntary Labeling for Products Without CFCs, Association Says," *International Environment Reporter*, June 8, 1988; Vera Rich, "Growing Reaction to Ozone Hole in Soviet Union," *Nature*, August 25, 1988.

56. F. Camm et al., "The Social Cost of Technical Control Options to Reduce Emissions of Potential Ozone Depleters in the United States: An Update," Rand Corporation, Santa Monica, California, May 1986; Alan S. Miller and Irving M. Mintzer, "The Sky *Is* the Limit: Strategies for Protecting the Ozone Layer," World Resources Institute, Washington, D.C., November 1986.

57. M. Drechsler, Umweltbundesamt, Berlin, West Germany, private communication, June 24, 1988; L.R. Wallace, AT&T, Princeton, N.J., private communication, March 9, 1988; Maurice Verhille, Atochem, Paris, private communication, June 17, 1988; Kevin Fay, Alliance for Responsible CFC Policy, Rosslyn, Virginia, private communication, October 14, 1988; J. Rodgers, Allied-Signal, "Recycling and Recovery of Solvents in the Electronics Industry," in "Proceedings of Conference and Trade Fair: Substitutes and Alternatives to CFCs and Halons," EPA, Washington, D.C., January 13–15, 1988 (hereinafter cited as Substitutes and Alternatives Conference).

58. "Takeshita Cabinet Approves Ozone Bill Including Tax Incentives for CFC Recycling," *International Environment Reporter*, April 13, 1988.

59. C.H. Mueller, "Report on Realization and Results with a Full Scale CFC-11 Recovery Unit in the Flexible Foam Slabstock Production at Recticel in Kesteren Holland," Escher Hoogezand, Netherlands, March 11, 1987; Dr. H. Creyf, Recticel, Testimony before the West German Bundestag, Commission on Preventive Measures to Protect the Earth's Atmosphere, April 13, 1988; National Swedish Environmental Protection Board, *CFCs/Freons: Proposals to Protect the Ozone Layer* (Solna, Sweden: 1987); "Foam Plastics: Next in Line for the CFCs Campaign," *ENDS Report*, March 1988; N.C. Vreenegóor, "Environmental Considerations in the Production of Flexible Slabstock," Substitutes and Alternatives Conference.

60. Mueller, "Report on Realization and Results with a Full Scale CFC-11 Recovery Unit"; Creyf, Testimony; National Swedish Environmental Protection Board, *CFCs/Freons*; "Foam Plastics: Next in Line," *ENDS Report*; Vreenegoor, "Environmental Considerations in the Production of Flexible Slabstock."

61. EPA, Addenda to *Regulatory Impact Analysis.*

62. Sarah L. Clark, "Protecting the Ozone Layer: What You Can Do," Environmental Defense Fund, 1988; Jean Lupinacci, EPA, private communication, October 14, 1988; Kenneth Manz, Robinair, Montpelier, Ohio, private communication, August 11, 1988.

63. Clark, "Protecting the Ozone Layer"; Lupinacci, private communication.

64. Mr. Pautz, Umweltbundesamt, Berlin, West Germany, private communication, June 24, 1988.

65. John R. Fisher, "A New Rosin Defluxing Alternative," AT&T, Princeton, N.J., 1988; Philip Shabecoff, "New Compound Is Hailed as Boon to Ozone Shield," *New York Times*, January 14, 1988; Pamela S. Zurer, "Search Intensifies for Alternatives to Ozone Depleting Halocarbons," *Chemical and Engineering News*, February 8, 1988; Sudhakar Kesavan, "Overview of CFC-113 Use in the Electronics Industry and Control Options Available," Substitutes and Alternatives Conference.

66. Laurie Hays, "Du Pont Plans Plant to Produce Refrigerant Harmless to Ozone," *Wall Street Journal*, September 30, 1988; "Du Pont Plans Commercial-scale Plant for Production of CFC-12 Substitute," *Journal of Commerce*, September 30, 1988; Malcolm Gladwell, "Du Pont Plans to Make CFC Alternative," *Washington Post*, September 30, 1988.

67. "Carbide Easing an Ozone Peril," *Washington Post*, August 6, 1988; "Dow to Curtail CFCs," *Washington Post*, May 14, 1988.

68. Thomas P. Nelson, "Findings of the Chlorofluorocarbon Chemical Substitutes International Committee," EPA, Washington, D.C., 1988; Meirion Jones, "In Search of Safe CFCs," *New Scientist*, May 26, 1988; U. Bohr, Du Pont, Testimony before the West German Bundestag, Commission on Preventive Measures to Protect the Earth's Atmosphere, April 25, 1988; Imperial Chemical Industries (ICI), Testimony before the West German Bundestag, Commission on Preventive Measures to Protect the Earth's Atmosphere, April 29, 1988.

69. "Du Pont Sees Progress in Replacing Fluorocarbons," *Chemical Marketing Reporter*, January 11, 1988; "Korean Firm Joins in International Effort to Pool Knowledge on CFC Toxicity Testing Studies," *International Environmental Reporter*, April 13, 1988; Greg Freiherr, "Can Chemists Save the World from Chemists?" *The Scientist*, May 16, 1988.

70. Camm et al., "Social Cost of Technical Control Options"; National Swedish Environmental Protection Board, *CFCs/Freons*.

71. Makhijani et al., *Saving Our Skins*; Nick Sundt, OTA, Washington, D.C., private communication, July 28, 1988.

72. Tom Potter, "Potential for Offsetting CFCs with Advanced Insulation," Substitutes and Alternatives Conference.

73. John W. Mossel, "Uses of Halons and Opportunities for Emission Reductions: Size and Structure of the Market," Substitutes and Alternatives Conference.

74. Ibid.; Tom Moorehouse, "The Air Force Halon/Ozone Research Program," Substitutes and Alternatives Conference.

75. Gregory C. Munie, AT&T Bell Laboratories, "Experience with the Use of Aqueous Cleaning in the Electronics Industry," Substitutes and Alternatives Conference; Leo Lambert, "Digital Equipment Corporation Experience with Aqueous Cleaning," Substitutes and Alternatives Conference; Eileen B. Claussen, "Moving Forward Together," *The Environmental Forum*, July/August 1988; Kathi Johnson, U.S. Navy, "Alternative Cleaning Materials: Research Topics for the Military," Substitutes and Alternatives Conference.

76. UNEP, "Montreal Protocol"; OTA, "An Analysis of the Montreal Protocol."

77. Hoffman and Gibbs, *Future Concentrations*.

78. James K. Hammitt et al., "Future Emission Scenarios for Chemicals that May Deplete Stratospheric Ozone," *Nature*, December 24, 1987; Arjun Makhijani, Institute for Energy and Environmental Research, Takoma Park, Maryland, private communication, October 26, 1988.

79. Hansen, Testimony before the Committee on Energy and Natural Resources; Fisher, Testimony before the Subcommittee on Energy and Power; Wigley, "Future CFC Concentrations"; F. Sherwood Rowland and Daniel G. Aldrich Jr., "Chlorofluorocarbons, Stratospheric Ozone, and the Antarctic 'Ozone Hole'," *Environmental Conservation*, Summer 1988.

80. Hoffman and Gibbs, *Future Concentrations*.

81. Ibid.

82. Government of Sweden, "Environmental Policy for the 1990s," Environmental Bill, March 4, 1988; Sverker Hogberg, scientific counselor, Embassy of Sweden, Washington, D.C., private communication, October 13, 1988.

83. National Swedish Environmental Protection Board, *CFCs/Freons*; Government of Sweden, "Environmental Policy for the 1990s."

84. Liz Cook, Friends of the Earth, Washington, D.C., private communication, October 6, 1988.

85. Lord Caithness, UK minister of the environment, statement to the press, October 3, 1988; Philip Shabecoff, "EPA Chief Asks Total Ban on Ozone-harming Chemicals," *Washington Post*, September 27, 1988; Wolf Dieter Garber, private communication.

86. For further discussion of a tax on ozone depleting substances see Cogan, *Stones in a Glass House*, and Makhijani, *Saving Our Skins*.

87. Mark Ledbetter, American Council for an Energy Efficient Economy, Washington, D.C., private communication, October 12, 1988; Terry Statt, U.S. Department of Energy, Washington, D.C., private communication, October 12, 1988.

88. National Swedish Environmental Protection Board, *CFCs/Freons*.

89. Joan Martin-Brown, UNEP, Washington, D.C., private communication, November 1, 1988; Senator John H. Chafee, Statement in *Preparing for Climate Change: Proceedings of the First North American Conference on Preparing for Climate Change: A Cooperative Approach* (Washington, D.C.: Government Institutes, Inc., 1988).

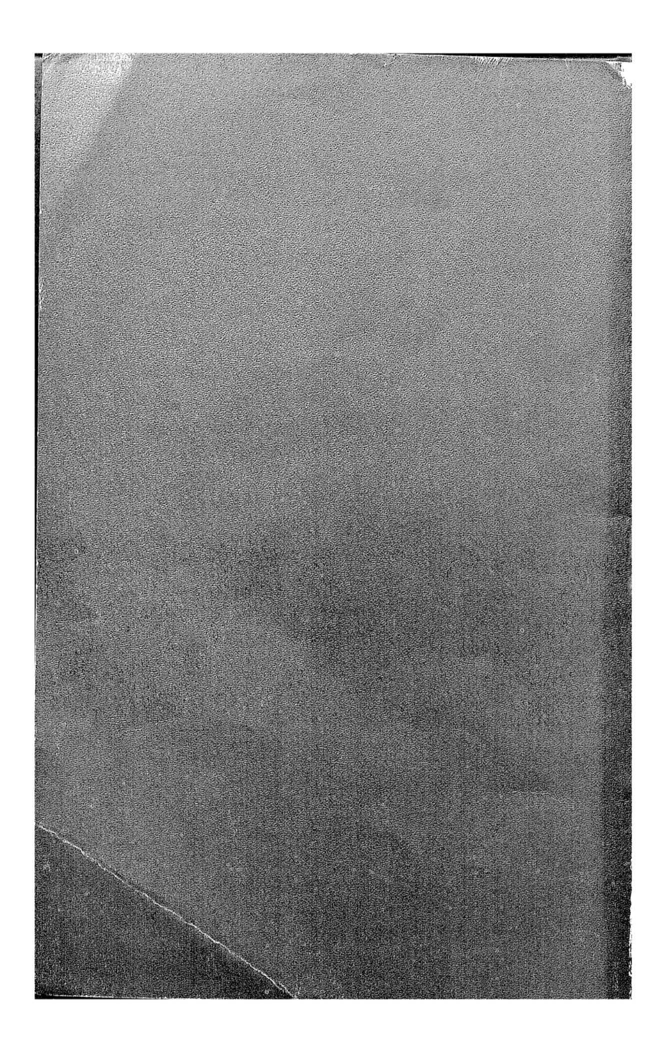
Protecting Life on Earth
Steps to Save the Ozone Layer

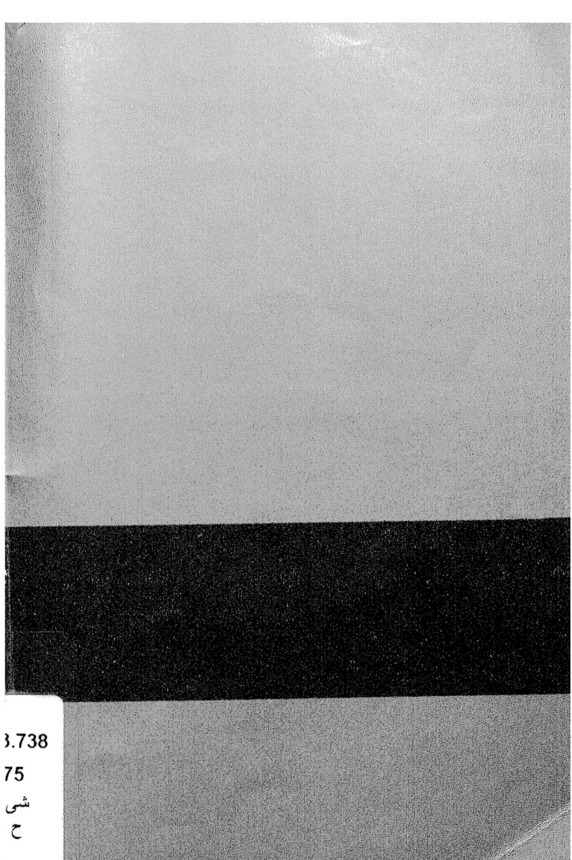
Cynthia Pollock Shea

Table of Contents

رقم الإيداع : ١٩٩١/٩٧٩٦
I.S.B.N 977-5108-12-8







Worldwatch Institute
1776 Massachusetts Avenue, N.W.
Washington, D.C. 20036 USA